Библиотека

по







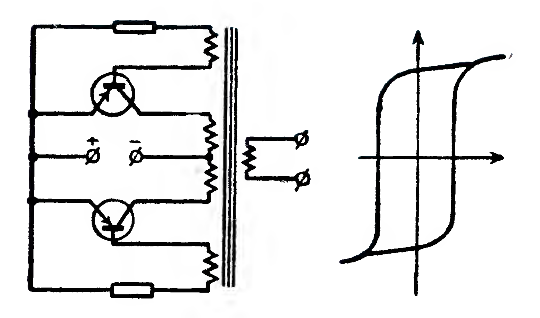




АВТОМАТИКЕ

Я. А. Купершмидт, В. С. Малов, А. М. Пшеничников

Современные телеизмерительные системы



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Выпуск 44

Я. А. КУПЕРШМИДТ, В. С. МАЛОВ,
А. М. ПШЕНИЧНИКОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-5(4)-3

В СССР и за рубежом за последние годы достигнут значительный прогресс в развитии телеизмерительной техники. Усовершенствованы телеизмерительные устройства, построенные на ранее известных принципах, созданы новые виды аппаратуры. Развернуты исследовательские и опытные работы в области новых принципов осуществления телеизмерительных систем.

В книге дается краткая характеристика современного состояния промышленных телеизмерительных систем, описывается выполненная аппаратура; Основное внимание уделяется принципиальным характеристикам телеизмерительных устройств. Рассматриваются тенденции развития телеизмерительной техники.

Книга рассчитана на инженеров и техников, работающих в области автоматизации и телемеханизации промышленности.

6П2.15 *Купершмидт Яков Абрамович,*
К 92 *Малов Владимир Сергеевич,*
Пшеничников Александр Матвеевич

Современные телеизмерительные системы, М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 88 с. с черт.
(Б-ка по автоматике, вып 44)

6П2.15

Редактор *Б. Я. Жуховицкий* Техн. редактор *М. М. Широкова*

Сдано в набор 8/VIII 1961 г. Подписано к печати 11/IX 1961 г.
Т-12317 Бумага 84×108 1/32 4,51 п. л. Уч.-изд. л. 6,9
Тираж 15 000 экз. Цена 35 коп. Зак. 491

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЛЕИЗМЕРЕНИИ

Неотъемлемой частью систем управления производственными процессами являются различные средства автоматического контроля. К числу таких средств можно, в частности, отнести автоматические измерительные приборы и устройства сигнализации. Принцип построения средств автоматического контроля, как правило, обеспечивает передачу информации о ходе технологического процесса на сравнительно небольшие расстояния — от десятков метров до 1—2 *км*. Такие системы применяют для централизации контроля в пределах предприятия или цеха, осуществляя наблюдение за работой оборудования из одного помещения (пункта управления).

Возможности обычных систем автоматического контроля становятся недостаточными при увеличении территории, охватываемой централизованным контролем. Даже в пределах крупных предприятий (металлургических комбинатов, химических заводов и др.) длина линий связи, соединяющих отдельные производственные участки с пунктом управления, достигает нескольких километров. На еще более значительные расстояния необходимо передавать информацию при централизации контроля на нефтяных и газовых промыслах, ирригационных сооружениях. Особенно характерны в этом отношении энергетические системы, магистральные газопроводы и нефтепроводы, здесь расстояния между отдельными контролируемыми пунктами (электростанциями и подстанциями в энергетических системах, компрессорными и насосными на трубопроводах) и пунктом управления (диспетчерским пунктом) достигают сотен километров, а иногда превышают 1 000 *км*. В подобных случаях для автоматического контроля требуются специальные средства передачи информации — средства телемеханики, к которым относятся и системы телеизмерения.

Таким образом, системы телеизмерения — это особые разновидности автоматических измерительных систем, наделенные телемеханическими свойствами, т. е. способностью передавать значения измеряемых величин на значительные расстояния.

При передаче информации об измеряемых величинах на значительные расстояния наибольшие технические трудности связаны с устранением или ограничением погрешностей, возникающих как вследствие изменения рабочих характеристик линий связи, так и в результате действия помех. Кроме того, необходимо экономично использовать представляемые линии связи, применяя их многократное уплотнение.

Системы телеизмерения и должны решать обе эти задачи — обеспечения точности телепередачи измеряемых величин и экономичного использования проводных или радиолиний связи.

Особое значение телеизмерительные системы приобретают при передаче данных с подвижных объектов: ракет, самолетов. Очевидно, что в этом случае обычные измерительные системы принципиально не могут быть использованы. Только телеизмерительные устройства позволяют передать на Землю огромное количество ценных научных данных при исследовании космоса с помощью ракет, искусственных спутников и космических кораблей.

В этой книге рассмотрены только системы телеизмерения для стационарных промышленных объектов.

Сущность методов, применяемых при телеизмерении, заключается в том, что измеряемая величина преобразуется в сигнал такого



Рис. 1. Обобщенная блок-схема телеизмерительной системы.

1—датчик (первичный преобразователь); *2*—передатчик системы телеизмерения; *3*—приемник системы телеизмерения; *4*—выходной прибор.

вида, который обеспечивает его минимальное искажение при передаче по линии связи.

На рис. 1 представлена обобщенная блок-схема телеизмерительной системы. Измеряемая физическая величина x при помощи датчика (первичного преобразователя) *1* преобразуется в электрическую величину z (изменяющийся ток, напряжение, сопротивление, емкость или индуктивность); последняя в передатчике *2* преобразуется в сигнал y_1, передаваемый по линии связи. На приемной стороне сигнал y_2 поступает на вход приемника *3*, питающего выходной прибор *4*; последний и воспроизводит значение измеряемой величины.

Для телеизмерения используются как непрерывные (аналоговые), так и дискретные сигналы[1]. В первом случае в передатчике происходит функциональное преобразование или модуляция, а в качестве сигнала служат либо постоянный или переменный ток (напряжение) определенной величины, либо электрические колебания или электрические импульсы, модулированные по амплитуде, частоте или по времени (длительности, фазе). При этом величина тока (напряжения) или параметра модуляции связаны однозначной функциональной зависимостью с измеряемой величиной. Приемник измеряет ток (напряжение) или демодулирует сигнал.

В простейших телеизмерительных системах в зависимости от измеряемой величины изменяется величина тока или напряжения. Такие системы называются телеизмерительными системами интенсивности, а системы с модулированными колебаниями или импульсами — частотными и импульсными телеизмерительными системами.

На рис. 2 представлены сигналы импульсных и частотных систем. На рис. 2, *1* показаны сигналы с модуляцией импульсов по длительности или, как принято их называть, с широтной импульсной

[1] Здесь и далее термин «дискретные сигналы» означает дискретность по уровню: непрерывный ряд значений контролируемого параметра передается конечным числом сигналов.

модуляцией (ШИМ). Здесь длительность импульсов — функция измеряемой величины:

$$t_и = \varphi(x).$$

Верхний график, например, соответствует меньшему значению измеряемой величины.

На рис. 2, *2* представлены сигналы с фазовой импульсной модуляцией (ФИМ). Здесь в соответствии с измеряемой величиной

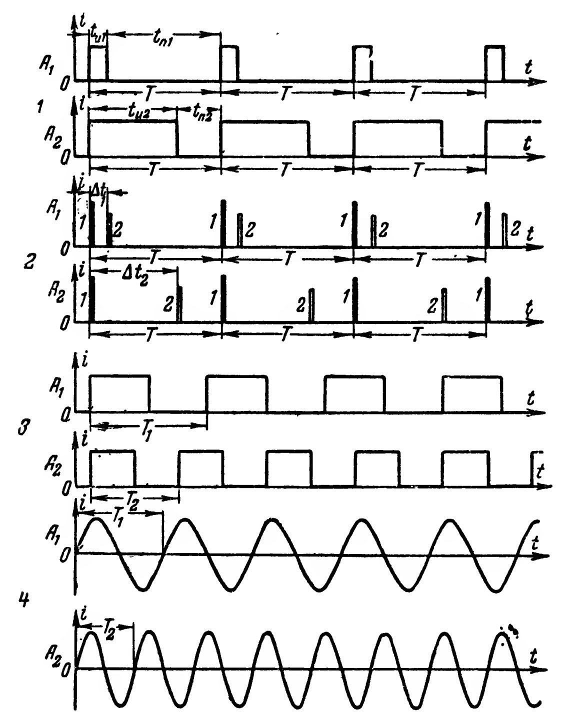


Рис. 2. Диаграммы сигналов частотных и импульсных систем телеизмерения.

1 — широтно-импульсная модуляция; *2* — фазо-импульсная модуляция; *3* — частотно-импульсная модуляция; *4* — частотная модуляция (переменного тока).

изменяется относительное положение во времени (фаза) короткого импульса.

Телеизмерительные системы с широтной и фазовой импульсной модуляцией составляют группу время-импульсных систем.

На рис. 2,*3* и 2,*4* представлены сигналы для двух разновидностей частотных телеизмерительных систем. Графики рис. 2,*3* относятся к системе с частотной импульсной модуляцией (ЧИМ). Здесь ча-

стота следования импульсов является функцией измеряемой величины:

$$f = \varphi(x).$$

На рис. 2,*4* показаны графики сигнала частотной системы телеизмерения переменного тока, т. е. системы с частотной модуляцией синусоидальных колебаний (ЧМ).

В системах с дискретными сигналами передатчик осуществляет операции квантования и кодирования. Операция квантования заключается в переходе от непрерывного ряда значений контролируемой

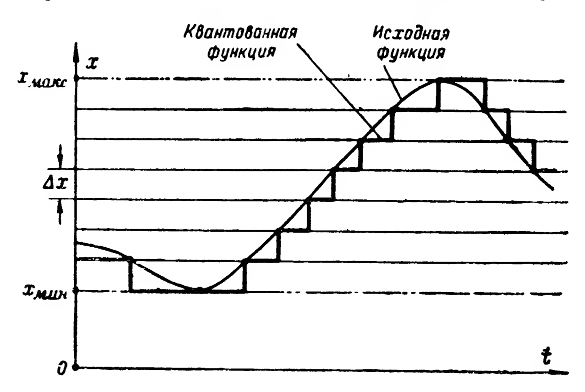


Рис. 3. График процесса квантования.

величины x к конечному ряду значений, отстоящих друг от друга обычно на одинаковые интервалы Δx (шаг квантования).

Операцию квантования поясняет график рис. 3.

Таким образом, диапазон изменений измеряемой величины ($x_{\text{макс}}$—$x_{\text{мин}}$) разбивается на N уровней, где

$$N = \frac{x_{\text{макс}} - x_{\text{мин}}}{\Delta x}.$$

В процессе кодирования каждый уровень представляется в виде определенной комбинации импульсов (кода). Погрешность телеизмерения, вызванная дискретным представлением непрерывного ряда значений измеряемой величины, ограничивается величиной шага квантования Δx. Принципы построения систем кодов будут пояснены позднее (см. § 5).

Системы телеизмерения с дискретными сигналами также относятся к группе импульсных и частотных систем.

Телеизмерительные системы интенсивности рассчитаны на передачу сигналов по выделенным цепям проводных линий связи. При этом радиус их действия не велик (до 10—30 *км*), так как с увеличением длины линии связи возрастают до недопустимых значений погрешности, вызванные изменением величины тока (напряжения) при изменении параметров линии связи (сопротивления проводов и проводимости изоляции).

Частотные и импульсные системы могут работать и по протяженным каналам связи с изменяющимися параметрами, в том числе проводным линиям связи или линиям электропередачи высокого напряжения, а также по радиоканалам.

Во многих случаях для экономичного использования линии связи нужно передать по одной линии значения нескольких измеряемых величин. Для этой цели применяются многоканальные телеизмерительные системы с двумя основными методами разделения сигналов: частотным и временны́м.

При частотном разделении для каждого сигнала выделяется определенная полоса частот; рабочие полосы частот для ограничения взаимных влияний сигналов разделяются защитными интервалами. По линии связи сигналы разных частот передаются одновременно, а на приемной стороне вновь разделяются при помощи фильтров.

При временно́м разделении сигналы передаются последовательно во времени. Для осуществления временно́го разделения применяется поочередное подключение к линии связи соответствующих передатчиков и приемников телеизмерения с помощью синхронизированных коммутаторов.

Нередко по условиям эксплуатации технологического оборудования требуется контролировать довольно значительное число параметров, но не непрерывно, а только по мере возникновения необходимости в измерении. В подобных случаях непрерывная передача всех данных может оказаться нерациональной, приведет к бесполезной загрузке линий связи. Поэтому осуществляют выборочные телеизмерения или, как говорят, телеизмерения по вызову.

При этом достаточно иметь один общий канал связи, к которому по мере надобности подключаются необходимые приборы телеизмерения. Обычно передающее и приемное устройства имеют общие телеизмерительные преобразователи (передатчик, приемник), а нередко и общие или групповые выходные приборы, а переключаются только индивидуальные первичные преобразователи (датчики). Число измеряемых параметров практически не ограничивается. Для выбора параметра с приемного пункта при помощи селективного устройства посылают вызывной сигнал. Часто для этой цели используется устройство телеуправления, работающее по самостоятельному каналу.

2. ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ИНТЕНСИВНОСТИ

В телеизмерительных системах интенсивности передача измеряемой величины по линии связи осуществляется чаще всего постоянным током или напряжением. Постоянный ток на приемной стороне измеряется магнитоэлектрическим прибором, напряжение — автоматическим потенциометром, который измеряет напряжение без потребления мощности. Наибольшее распространение получили системы интенсивности с передачей постоянным током. Применение переменного тока связано с дополнительными погрешностями, возникающими из-за помех (наводок переменного тока) и изменения индуктивности и емкости линии связи.

Системы интенсивности выполняются как небалансными или некомпенсированными, так и балансными или компенсированными. В первых измеряемый параметр преобразуется в изменение тока или

напряжения посредством изменения активного сопротивления, индуктивности, емкости, взаимной индуктивности электрической цепи или путем трансформации. При балансном преобразовании автоматически поддерживается заданная зависимость между током в линии связи и измеряемым параметром. Последнее осуществляется с помощью регулирующих устройств, которые могут быть выполнены как с астатическим, так и со статическим регулированием.

Для передачи информации при телеизмерении методом интенсивности используются кабельные и воздушные линии связи. Дальность передачи по кабельным линиям связи составляет 20—25 *км*, а по воздушным — 7—10 *км*. Это объясняется тем, что на кабельных линиях связи практически отсутствует утечка, в то время как у воздушных линий она может достигать значительной величины и изменяться в зависимости от метеорологических условий.

Необходимо отметить, что передающие устройства телеизмерительных систем интенсивности, преобразующие измеряемый параметр в изменения постоянного тока, часто применяются в качестве датчиков для устройств телеизмерения дальнего действия, систем множественного контроля и аппаратных систем автоматического регулирования.

а) Токовые небалансные системы

Преобразование измеряемого параметра в ток, пропорциональный или функционально зависящий от параметра, осуществляется как путем преобразования угла поворота измерительных приборов, так и с помощью статических преобразователей, не содержащих подвижных элементов. В первом случае подвижная система первичного измерителя тем или иным образом сочленяется с движком реохорда или рамкой индукционного преобразователя. В устройствах второго типа либо производится простая трансформация измеряемых параметров (измерение тока или напряжения), либо осуществляются функциональные преобразования (измерение мощности).

Устройства выпрямительной и индукционно-выпрямительной систем телеизмерения выпускаются в настоящее время заводом «Электропульт». Первые используются для измерения токов и напряжений, вторые — мощности, давления и уровня. Эти устройства подробно описаны в литературе [Л. 1, 2 и 8] и поэтому здесь не рассматриваются.

Наибольший интерес среди небалансных телеизмерительных систем интенсивности представляют статические устройства для телеизмерения мощности. На выходе датчика активной мощности такой системы необходимо иметь ток

$$i = kUI \cos \varphi,$$

где k — коэффициент пропорциональности;
U — напряжение сети;
I — ток сети;
φ — угол сдвига между напряжением и током сети.

В большинстве статических преобразователей мощности применяются элементы, обеспечивающие квадратичную зависимость между входным и выходным параметрами. Для построения квадратичных элементов могут использоваться квадратичные участки характеристик электронных ламп, квадратичные характеристики

меднозакисных выпрямителей, квадратичные зависимости между током и напряжением в дросселях с насыщенными сердечниками и в карборундовых сопротивлениях; квадратичные зависимости термо-э. д. с. от тока, протекающего через подогреватель, и др.

На рис. 4 приведена схема так называемого магнитного датчика мощности, разработанного в ЦЛЭМ Мосэнерго, к которой в качестве квадратичных элементов используются дроссели с насыщенными сердечниками. Напряжение от трансформатора напряжения и ток от трансформатора тока через вспомогательные трансформато-

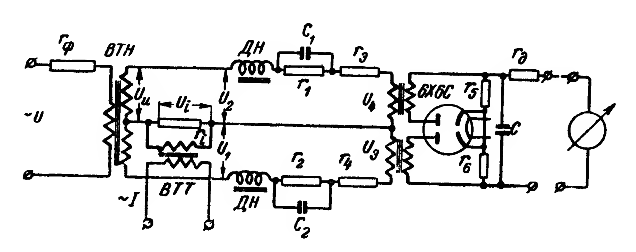


Рис. 4. Принципиальная схема однофазного магнитного датчика мощности.

ВТН — трансформатор напряжения датчика; *ВТТ* — трансформатор тока датчика; *ДН* — дроссель насыщения.

ры *ВТН* и *ВТТ* подаются на цепи дросселей с насыщенными сердечниками таким образом, что к одной цепи приложено напряжение $\dot{U}_1 = \dot{U}_U + \dot{U}_I$, а к другой $\dot{U}_2 = \dot{U}_U = \dot{U}_I$.

При помощи сопротивления $r_ф$ устанавливается угол сдвига между напряжениями $\dot{U}_U$ и $\dot{U}_I$, равный углу сдвига φ между напряжением $\dot{U}$ и током $\dot{I}$ в измеряемой цепи. Выходной ток устройства пропорционален разности напряжений на первичных обмотках выходных трансформаторов:

$$i = k_1 (U_3 - U_4).$$

С помощью сопротивлений r_3 и r_4 устанавливается режим, при котором

$$U_3 = k_2 U_1^2 = k_2 (U_U^2 + U_I^2 + 2U_U U_I \cos \varphi);$$

$$U_4 = k_2 U_2^2 = k_2 (U_U^2 + U_I^2 - 2U_U U_I \cos \varphi).$$

Таким образом, выходной ток

$$i = 4k_1 k_2 U_U U_I \cos \varphi = kUI \cos \varphi.$$

Конденсаторы C_1, C_2 и сопротивления r_1 и r_2 служат для уменьшения частотной зависимости схемы.

Магнитные датчики мощности для телеизмерительных устройств типа МДМ-3 выпускаются ЦЛЭМ Мосэнерго. Магнитные датчики мощности типа МДМ-4 с выходной мощностью 25 *мвт* для регуля-

торов мощности и частоты в энергосистемах выпускаются ЭРЗ Ростовэнерго.

Номинальный выходной ток однофазного датчика МДМ-3 равен 1 *ма* при сопротивлении линии связи 3 000 *ом*. Основная погрешность 1%. Дополнительные погрешности от изменения напряжения сети на ±10%, изменения cos φ от 0 до 1, изменения температуры окружающей среды на 20° С, частоты от 48 до 51 *гц* со-

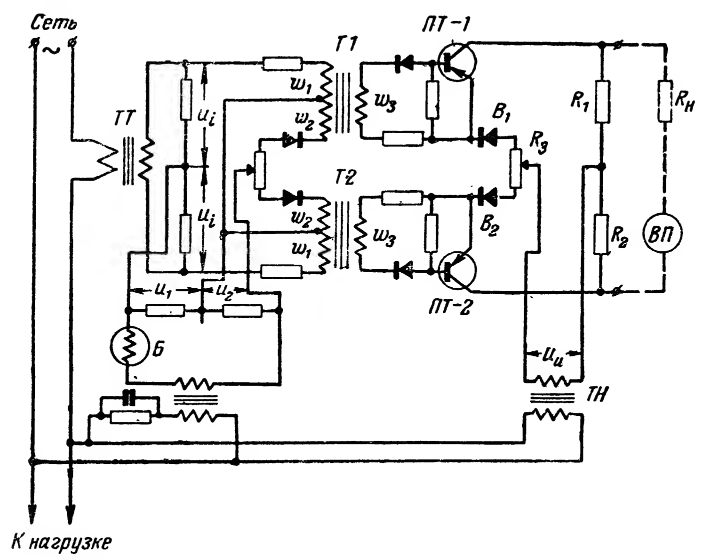


Рис. 5. Преобразователь мощности на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса.

ТТ — трансформатор тока; *ТН* — трансформатор напряжения; *Т1*, *Т2* — трансформаторы; *Б* — бареттер; *ВП* — выходной прибор.

ставляют (каждая в отдельности) 1%. Погрешность от изменения сопротивления линии связи на 300 *ом* (10%) не превышает ±0,5%.

Трехфазный магнитный датчик мощности состоит из двух однофазных, входы которых включены по схеме двух ваттметров, а выходы соединены параллельно.

Существенным недостатком магнитных датчиков мощности является зависимость их показаний от формы кривых напряжения и тока.

Иной принцип положен в основу устройства преобразователя мощности в постоянный ток, разработанного и выпускаемого заводом «Электропульт». Принципиальная схема однофазного преобразователя приведена на рис. 5.

Два одинаковых трансформатора *Т1* и *Т2*, имеющих обмотки управления w_1, рабочие обмотки w_2 и выходные обмотки w_3, выполнены на сердечниках из пермаллоя с прямоугольной петлей гистерезиса. Режим трансформаторов разделяется на полупериод управления и рабочий полупериод. Во время полупериода управления

происходит «подготовка» сердечников для рабочего полупериода. Магнитные потоки в сердечниках изменяются по-разному, так как к обмотке w_1 одного трансформатора приложена разность напряжений $u_1 - u_i$, а к аналогичной обмотке другого — сумма $u_1 + u_i$. Напряжение u_i пропорционально току в контролируемой цепи i.

Во время рабочего полупериода отпираются цепи обмоток w_2 и до наступления насыщения сердечников трансформаторов происходит трансформация энергии в цепи выходных обмоток w_3. Импульсы напряжения, наводимые в обмотках w_3, открывают ключи, выполненные на полупроводниковых триодах *ПТ-1* и *ПТ-2*.

Время, необходимое для насыщения сердечников трансформаторов, пропорционально величине напряжений, приложенных к обмоткам w_1 в полупериод управления, и обратно пропорционально напряжению U_2, действующему в рабочий полупериод. Величина U_2 должна быть больше максимального напряжения на обмотках w_1 в полупериод управления.

Для стабилизации напряжений U_1 и U_2 в схеме используется бареттер *Б*. После наступления насыщения сердечников полупроводниковые триоды *ПТ-1* и *ПТ-2* запираются.

Указывающий прибор *ВП* подключается к диагонали моста, образованного сопротивлениями R_1 и R_2, полупроводниковыми триодами *ПТ-1* и *ПТ-2*, диодами B_1 и B_2 и сопротивлением R_3. К другой диагонали моста подключается вторичная обмотка трансформатора напряжения *ТН* датчика.

Среднее напряжение на выходе схемы

$$U_{\text{ср}} = \frac{k_1}{T} \int\limits_0^T \left[\int\limits_0^{t_1} u_u \, dt - \int\limits_0^{t_2} u_u \, dt \right] dt,$$

где T — период;

k_1 — коэффициент пропорциональности.

На основании изложенного выше можем записать:

$$t_1 = k_2 (U_1 + u_i)$$

и

$$t_2 = k_2 (U_1 - u_i).$$

После подстановки значений t_1 и t_2 в выражение для $U_{\text{ср}}$ и преобразований получим:

$$U_{\text{ср}} = \frac{k_1}{T} \int\limits_0^T 2k_2 u_u u_i \, dt = kUI \cos \varphi.$$

Таким образом, напряжение на выходе схемы пропорционально измеряемой мощности.

Трехфазный преобразователь активной мощности типа СВПА-1 содержит два однофазных элемента, включенных в контролируемую цепь по схеме двух ваттметров для измерения активной мощности в трехпроводных цепях, и отличается от однофазного тем, что выходные цепи триодных ключей работают на общую нагрузку.

Номинальной измеряемой мощности на выходе датчика соответствует ток 1 *ма*. Максимальное допустимое активное сопротивление выходной цепи 1 500 *ом*.

Отклонение зависимости выходного тока от мощности в контролируемой цепи от линейной характеристики при нормальных условиях не превышает 1,5%. Дополнительная погрешность от изменения температуры окружающей среды на каждые 10° С в диапазоне температур от —10° С до +40° С не превышает 1,5%.

Изменение тока в выходной цепи преобразователя, вызванное отклонением напряжения на ±15% от номинального, при неизменном значении мощности в контролируемой цепи не превышает 1,5%.

б) Токовые балансные системы

В балансных системах происходит непрерывное сравнение параметров (механических или электрических), создаваемых измеряемой величиной, и током, протекающим в линии связи. В зависимости от сравниваемых параметров балансные системы могут быть разделены на две основные группы: системы, основанные на компенсации вращающего момента первичного измерителя, и системы, основанные на компенсации вспомогательного электрического параметра, зависящего от значения измеряемой величины. Как указывалось выше, балансные устройства могут быть подразделены на системы со статическим и астатическим регулированием. Первые обычно более просты, чем вторые, и являются, по сути дела, усилителями с отрицательной обратной связью по выходному току.

В токовых компенсационных системах ток в линии связи в широких пределах не зависит от сопротивления последней, от изменения напряжения источников питания и изменения параметров ряда элементов, используемых в преобразователях. Преимущество балансных систем заключается также в том, что они позволяют создать для чувствительного элемента измерителя неэлектрической величины наиболее выгодный режим работы за счет его малого хода. Это значительно повышает точность преобразования. В балансных системах сравнительно просто можно осуществить простейшие математические операции, например извлечение квадратного корня.

Первые балансные системы телеизмерения были разработаны в Советском Союзе в начале тридцатых годов. В литературе описаны фотокомпенсационная система ВЭИ [Л. 12 и 8], компенсационная индукционно-выпрямительная система [Л. 1 и 2], балансное устройство с электронным регулятором тока ЦЛЭМ Мосэнерго [Л. 8]. Ниже будет дано только описание двух балансных систем для телеизмерения неэлектрических величин.

Балансные системы с малым перемещением чувствительного элемента (с компенсацией вращающего момента или усилия). В настоящее время рядом фирм в Англии, США и ФРГ выпускаются манометры и дифманометры (для измерения расхода жидкостей или газов) с электрической силовой компенсацией, выходной сигнал которых — постоянный ток, пропорциональный измеряемому параметру. Такие измерительные устройства используются как для местных измерений и телеизмерения по системе интенсивности, так и в качестве датчиков для систем автоматического регулирования. Производство приборов аналогичного назначения организовано и в Советском Со-

юзе. На рис. 6 приведена схема дифманометра немецкой фирмы Гартман и Браун [Л. 14].

Усилие, создаваемое измеряемым перепадом давления, вызывает перемещение мембраны *М* и связанной с ней системы рычагов P_1, P_2 и P_3. При этом изменяется положение подвижных катушек дифференциального трансформатора (индикатора равновесия) *ИР*. Разность э. д. с., наводимых во включенных встречно подвижных катушках, усиливается электронным усилителем *ЭУ*. Выпрямленный усиленный ток создает компенсационное усилие, развиваемое ме-

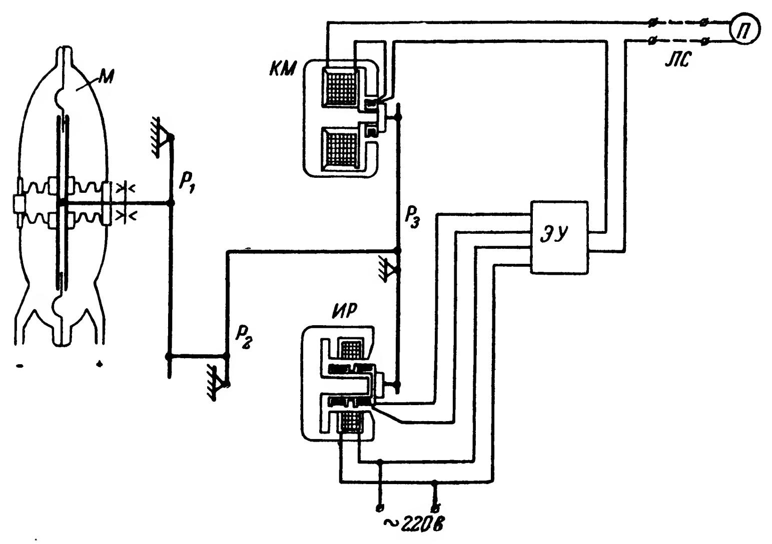


Рис. 6. Дифманометр с электрической силовой компенсацией.
М — мембрана; P_1, P_2, P_3 — рычаги; *ИР* — индикатор равновесия; *ЭУ* — электронный усилитель; *КМ* — компенсационный механизм; *ЛС* — линия связи; *П* — указывающий прибор.

ханизмом обратной связи *КМ*. Это усилие направлено навстречу усилию, создаваемому измеряемым перепадом. Благодаря этому максимальное перемещение последнего рычага P_3 составляет всего 0,5 *мм*. Последовательно с обмоткой компенсационного механизма включается линия связи *ЛС*. Магнитоэлектрический прибор *П*, отградуированный соответственно в единицах расхода или давления, измеряет компенсационный ток, пропорциональный указанным величинам. Выходной ток устройства изменяется от 0 до 20 *ма*.

При измерении расхода в качестве механизма обратной связи используется ферродинамическое устройство, а при измерении давления — магнитоэлектрическое. Так как момент, создаваемый чувствительным элементом (мембраной при измерении расхода), пропорционален перепаду давлений, а расход — корню квадратному из перепада, то момент измерительной системы:

$$M_{\text{изм}} = k_1 Q^2,$$

где k_1 — коэффициент пропорциональности;
Q — расход.

Приведенный к мембране компенсационный момент, создаваемый ферродинамической системой:

$$M_к = k_2 i^2,$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности;
i — компенсационный ток.

Так как при регулировании со статизмом $\delta\%$

$$M_к = M_{изм}(1 - 0{,}01\delta\%),$$

то, подставляя в это выражение значения $M_к$ и $M_{изм}$, после преобразований получим:

$$i = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}}\, Q \sqrt{1 - 0{,}01\delta\%}.$$

Таким образом, ток на выходе балансного преобразователя пропорционален расходу и при малых значениях статизма $\delta\%$ в широких пределах не зависит от изменения сопротивления измерительного шлейфа, колебаний напряжения сети и изменения характеристик усилителя.

Максимальное сопротивление измерительного шлейфа в балансном дифманометре фирмы Гартман и Браун составляет 5000 *ом*. Погрешность телеизмерения расхода при наличии коррекции показаний расхода на температуру и статическое давление составляет $\pm 1\%$. Для указанной коррекции фирма выпускает специальный прибор.

Балансные системы с компенсацией вспомогательного электрического параметра. Разработанное на заводе КИП Харьковского СНХ устройство телеизмерения с ферродинамическими (индукционными) датчиками относится к системам с компенсацией вспомогательного электрического параметра. Устройство предназначено для телеизмерения неэлектрических величин и состоит из первичного измерителя, снабженного ферродинамическим (индукционным) датчиком, электронного преобразователя *ЭП* и приемного магнитоэлектрического прибора *П*. Схема устройства приведена на рис. 7.

В качестве первичного измерителя может быть использован любой измерительный прибор со встроенным ферродинамическим датчиком *ФД*. Момент, необходимый для поворота рамки датчика на максимальный рабочий угол, не превышает 10 *Г · см*. Угол поворота рамки датчика должен быть пропорционален величине измеряемого параметра. Нелинейность зависимости между углом поворота рамки и наводимой э. д. с. не превышает $\pm 0{,}4\%$ приращения э. д. с., соответствующего углу поворота рамки от $-20°$ до $+20°$.

Питание ферродинамического датчика осуществляется от стабилизатора тока с плавающим сердечником *СТ*, который помещается в корпусе электронного преобразователя *ЭП*. Потребляемая ферродинамическим датчиком мощность составляет около 6 *ва*.

Электронный преобразователь представляет собой двухкаскадный усилитель переменного тока с отрицательной обратной связью

по выходному току, который выпрямляется мостом *B*. Напряжение отрицательной обратной связи снимается с сопротивления *R*, включенного последовательно с выпрямительным мостом. Поэтому выпрямленный ток в широких пределах не зависит от изменения сопротивления линии связи *ЛС*, колебания напряжения питания усилителя и изменения характеристик электронных ламп. В рассматриваемом устройстве отрицательной обратной связью охватывается

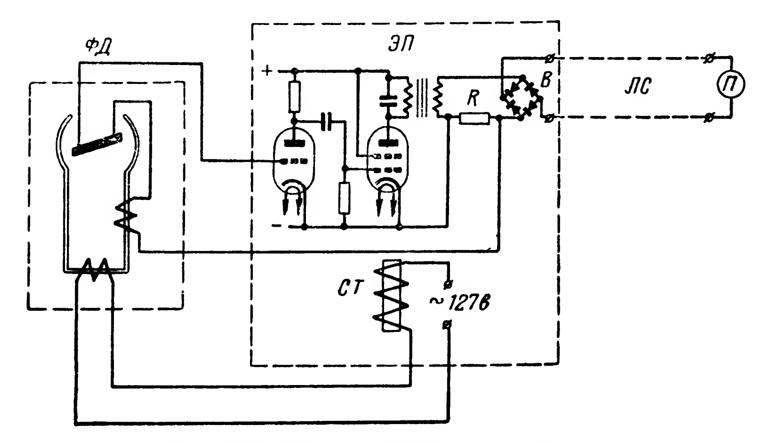


Рис. 7. Устройство телеизмерения с ферродинамическим (индукционным) датчиком завода КИП Харьковского СНХ.

ФД—ферродинамический (индукционный) датчик; *СТ*—стабилизатор тока; *ЭП*—электронный преобразователь; *ЛС*—линия связи; *П*—указывающий прибор.

только преобразование переменного напряжения с выхода ферродинамического датчика в постоянный ток.

Номинальный ток на выходе преобразователя 1 *ма* при сопротивлении измерительного шлейфа до 5 000 *ом*. Показания преобразователя не зависят от изменения сопротивления линии связи в указанных пределах. Уменьшая сопротивления обратной связи, можно повысить номинальный ток устройства, при этом соответственно уменьшается допустимое сопротивление измерительного шлейфа. Так, при номинальном токе 5 *ма* сопротивление линии связи не должно превышать 1 000 *ом*.

В качестве вторичного показывающего прибора *П* используется миллиамперметр постоянного тока с током полного отклонения 1 *ма*. Питание всего устройства осуществляется от сети 127 *в*, 50 *гц*, потребляемая мощность не более 80 *ва*.

3. ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

В зависимости от длительности периода следования импульсов время-импульсные системы подразделяются на длиннопериодные (с периодом от 1 до 60 *сек*) и короткопериодные (с периодом менее 1 *сек*).

Погрешность телепередачи во время-импульсных системах определяется искажением фронтов импульсов при их передаче по каналу связи. На рис. 8 показан примерный характер искажения формы прямоугольного импульса при его передаче по проводной линии связи. Кривая *1* показывает форму импульса на выходе передатчика, а кривая 2 — на входе приемника; через $U_{ср}$ и $U_{отп}$ обозначены напряжения срабатывания и отпускания входного элемента приемника. Из рис. 8 видно, что воспроизводимый на приемной стороне импульс отличается от передаваемого импульса длительностью. Вследствие непостоянства параметров линии связи высота импульсов на приемной стороне изменяется. Напряжение срабатывания и отпускания входного элемента приемника также непостоянны. Поэтому искажения импульсов по длительности изменяются и не могут быть учтены при градуировке приемного прибора, что вызывает погрешности телеизмерения.

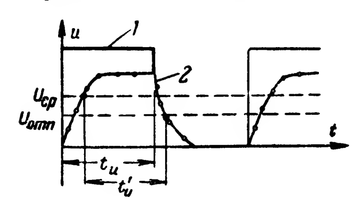


Рис. 8. Искажение формы импульса при передаче по каналу связи.

Уменьшение относительной погрешности от искажения формы импульсов может быть достигнуто как за счет увеличения длительности импульсов, так и за счет расширения полосы частот канала связи. Поэтому для телеизмерения медленно изменяющихся неэлектрических величин обычно применяются длиннопериодные время-импульсные системы.

Длиннопериодные время-импульсные системы для измерения неэлектрических величин получили широкое распространение в США, где они выпускаются фирмой «Бристоль» и рядом других фирм. В Советском Союзе устройства этой системы также разрабатывались рядом организаций.

Преобразование величины измеряемого параметра в пропорциональную ему длительность импульса достигается следующими способами:

а) Преобразование угла поворота первичных измерительных приборов с помощью вращающихся с постоянной скоростью профилированных дисков или барабанов. Вращение с постоянной скоростью осуществляется либо синхронным двигателем, либо часовым механизмом с электрическим подзаводом. Съем импульсов выполняется либо контактными, либо бесконтактными устройствами. При контактном съеме первичный измерительный прибор должен обладать достаточно большим моментом. Изменяя профиль диска или барабана, можно получить спрямление шкалы, например извлечение квадратного корня при измерении расхода. Преобразование угла отклонения посредством вращающихся с постоянной скоростью дисков или барабанов применяется в устройствах фирмы «Бристоль», ИАТ, АКХ, ЦНИИКА.

б) Преобразование угла поворота первичных измерительных приборов при помощи реостатных (потенциометрических) датчиков. В телеизмерительной системе МЭИ время-импульсное преобразование осуществляется по методу динамической компенсации; в системе ИАТ применяются экспоненциальные преобразователи.

в) Преобразование напряжения постоянного тока, пропорцио-

нального величине измеряемого параметра, во время-импульсный сигнал как методом динамической компенсации, так и посредством различных электронных схем.

В литературе подробно описаны электромеханические передающие устройства время-импульсной системы телеизмерения с контактным и оптическим съемом сигнала и устройства с динамической компенсацией, использующие как реостатные датчики, так и датчики с выходом по напряжению [Л. 1, 2, 5, 6 и 8]. Поэтому ниже даны описания только двух передающих устройств: электромеханического устройства с постоянной скоростью вращения и бесконтактным съемом сигнала при помощи фотодиода (ЦНИИКА) и устройства с экспоненциальными преобразователями (ИАТ).

Приемные устройства время-импульсной системы телеизмерения делятся на две основные группы — электромеханические и электрические. Первые пердставляют собой механические измерители длительности импульса и используются в основном в длиннопериодных устройствах. Эти приемники подробно описаны в литературе [Л. 1, 2, 5 и 8] и здесь не рассматриваются. Электрические приемные устройства в свою очередь подразделяются на приемники, измеряющие коэффициент импульса (отношение длительности импульса к периоду), и приемники с преобразованием длительности импульса в напряжение или ток. Приемники, измеряющие коэффицент импульса, обычно работают при сравнительно большой частоте следования импульса — порядка нескольких герц.

Время-импульсная система ЦНИИКА [Л. 34]. Разработанные в ЦНИИКА передающие устройства для телеизмерения давления и расхода выполняются на базе стандартных измерительных приборов (манометров типа МГ-410 или МГ-610 и дифференциальных манометров типа ДП-410 или ДП-610). Измерительные системы указанных приборов остаются без изменения. На выходной оси прибора *ПИ* на специальных поводках укрепляются одна против другого лампа накаливания *Л* и фотодиод *ФД* (рис. 9,*а*). Между ними помещен алюминиевый диск *Д* с профилированным вырезом (рис. 9,*б*), вращаемый синхронным двигателем типа СД-54 через редуктор *Р*. При прохождении выреза диска между лампой накаливания и фотодиодом сопротивление последнего уменьшается и триод *ПТ-1* запирается. При этом срабатывает триггер Шмидта (*ПТ-2* и *ПТ-3*), выдающий выходной импульс. Продолжительность последнего равна времени освещенности фотодиода. Длительность фронта импульсов не превышает 1—2 *мсек.* В зависимости от величины измеряемого параметра меняется положение фотодиода и лампы накаливания и, следовательно, длительность выходного импульса.

При измерении давления форма выреза в диске рассчитывается так, чтобы длина импульса изменялась прямо пропорционально углу поворота измерительной системы манометра. В расходомере профиль выреза в диске обеспечивает извлечение квадратного корня из измеряемого перепада давлений, так что продолжительность импульса линейно зависит от расхода. При изменении расхода от 0 до 100% длительность импульса линейно изменяется от 300 до 1 700 *мсек.*

Основная погрешность передающих устройств для измерения давления и расхода не превышает 1,5%. При изменении напряжения питания на ±25% погрешность датчиков не выходит за пределы основной погрешности. При изменении частоты сети дополнительная

погрешность увеличивается пропорционально отклонению частоты от номинального значения (50 *гц*). Дополнительная погрешность от изменения температуры окружающей среды от 20° С до 40° С не превышает 1%.

Приемник преобразует время-импульсный сигнал в постоянный ток, пропорциональный длительности импульса. Упрощенная схема приемника приведена на рис. 10. Импульсы с линии связи поступа-

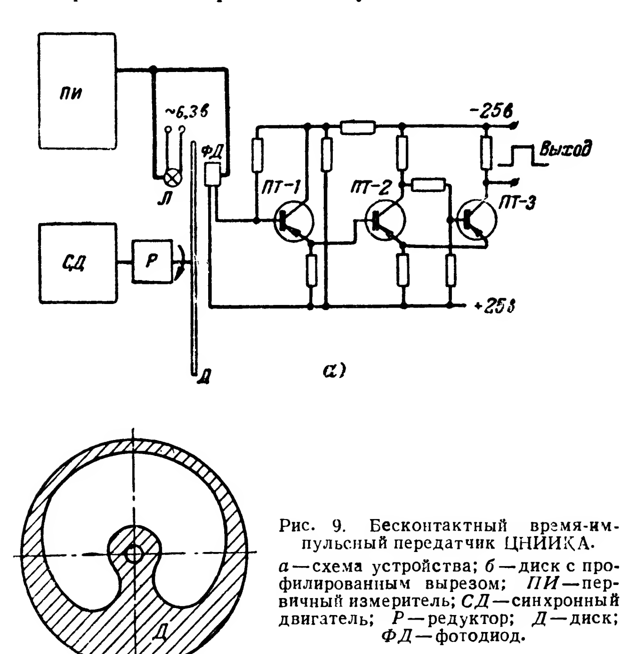


Рис. 9. Бесконтактный время-импульсный передатчик ЦНИИКА.
а — схема устройства; *б* — диск с профилированным вырезом; *ПИ* — первичный измеритель; *СД* — синхронный двигатель; *Р* — редуктор; *Д* — диск; *ФД* — фотодиод.

ют на сетку входной лампы (левый триод *Л1*), которая при отсутствии сигнала заперта. Правый триод лампы *Л1* работает при зарядке конденсатора C_1 в режиме стабилизатора тока. На сетку триода подается стабилизированное напряжение, снимаемое с опорного кремниевого диода *К*. В катод лампы включено большое сопротивление R_1. Конденсатор C_1 шунтируется левым триодом лампы *Л2*, управляемым входной лампой. При отсутствии входного сигнала конденсатор C_1 шунтирован. При поступлении импульса на вход схемы левая половина лампы *Л1* открывается, а левая половина лампы *Л2* закрывается и начинается зарядка конденсатора C_1 стабилизированным током. При этом напряжение на его обкладках возрастает пропорционально времени. Таким образом, напряжение на обкладках конденсатора пропорционально длительности импульса.

Конденсатор C_1 отделен от конденсатора памяти C_2 диодом (правый триод лампы *Л2*, включенный как диод). Поэтому, если

конденсатор C_2 не был заряжен, то он будет заряжаться вместе с конденсатором C_1. Так как зарядный ток стабилизирован и $C_1 = C_2$, то при одновременной зарядке двух емкостей напряжение на обкладках конденсаторов растет в 2 раза медленнее, чем при зарядке одного конденсатора. Во время паузы конденсатор C_1 полностью разряжается, а конденсатор C_2 почти сохраняет накопленный заряд, так как он отделен от конденсатора C_1 диодом. Под действием второго измерительного импульса в схеме происходят те же процессы, что и при действии первого, с той лишь разницей, что

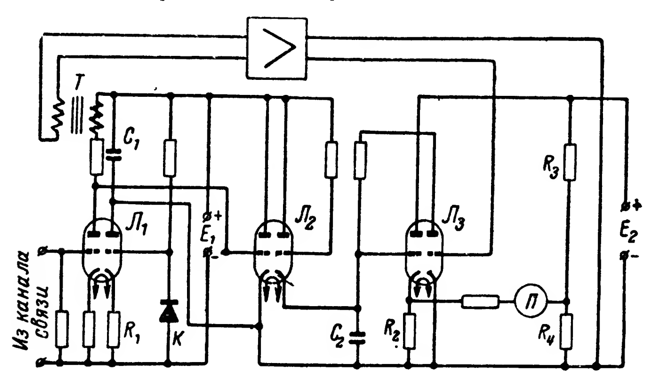


Рис. 10. Приемник время-импульсной системы телеизмерения ЦНИИКА.

скорость зарядки конденсатора C_1 будет в 2 раза большей, пока напряжение на нем не достигнет величины напряжения на обкладках конденсатора C_2. После выравнивания напряжения конденсатор C_2 оказывается включенным параллельно C_1.

Так работает устройство до тех пор, пока не наступит динамическое равновесие, при котором частичная разрядка конденсатора C_2 во время паузы компенсируется его зарядкой под действием импульса. Напряжение с конденсатора C_2 подается на сетку лампы электронного вольтметра (левая половина триода *Л3*). Указывающий прибор *П* включается в диагональ моста, образованного левым триодом *Л3* и сопротивлениями R_2, R_3 и R_4. Правый триод *Л3* используется для периодической добавочной разрядки конденсатора C_2, чтобы уменьшить постоянную времени приемного устройства при убывании измеряемого параметра (длительности импульсов), так как скорость самостоятельной разрядки конденсатора C_2 очень мала. С этой целью с помощью трансформатора *Т1* получается кратковременный импульс длительностью 5—6 *мсек* при прохождении заднего фронта измерительного импульса. Этот импульс усиливается и открывает правый триод *Л3*, разряжая конденсатор C_2 примерно на 3—4%.

Основная погрешность приемника не превышает ±1,5%, дополнительная погрешность от колебания напряжения питания на ±15% также не превышает ±1,5%.

Телеизмерительная система ИАТ [Л. 9 и 10]. Передающие устройства типов ВСТ-1 и ВСТ-2 преобразуют угол поворота первич-

ного измерителя во время-импульсный сигнал с помощью потенциометрических датчиков и экспоненциальных преобразователей. Устройство ВСТ-1 предназначено для работы на проводных выделенных линиях связи и не требует местных источников питания на контролируемом пункте. Устройство ВСТ-2 является модификацией устройства ВСТ-1, предназначенной для работы по частотно-уплотненным линиям связи и радиоканалам. Для этого устройства необходимы источники питания на контролируемом пункте.

На рис. 11 приведена упрощенная схема передатчика ВСТ-1. Передатчик питается по проводной линии связи *ЛС* с диспетчерского

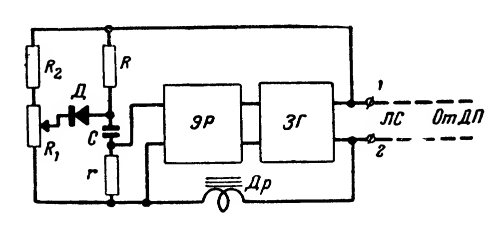


Рис. 11. Передатчик время-импульсной системы телеизмерения типа ВСТ-1.

ЭР — электронное реле; *ЗГ* — звуковой генератор; *ЛС* — линия связи.

пункта (*ДП*) импульсами прямоугольной формы длительностью 1 700 *мсек* с периодом 2 000 *мсек*. При поступлении на зажимы *1—2* передатчика прямоугольного импульса с *ДП* конденсатор *C* начинает заряжаться. Зарядка конденсатора продолжается до тех пор, пока суммарное напряжение на его обкладках и сопротивлении *r* не достигнет величины падения напряжения на нижней части сопротивления потенциометрического датчика R_1. При этом диод *Д* начинает пропускать ток. Таким образом, момент открытия диода определяется положением движка потенциометра R_1. При прекращении зарядного тока конденсатора срабатывает электронное реле *ЭР*, включающее генератор звуковой частоты *ЗГ*. Последний по той же линии связи передает сигнал на *ДП* об окончании зарядки конденсатора. Для того чтобы датчик и вход передатчика не шунтировали токи звуковой частоты, включается дроссель *Др*. Время между посылкой прямоугольного импульса со стороны *ДП* и приходом на *ДП* сигнала о прекращении зарядки конденсатора определяет величину измеряемого параметра. Необходимо отметить, что с момента открытия диода *Д* до конца импульса напряжение на конденсаторе *C* остается постоянным по величине, так как прямое сопротивление диода много меньше R_1 и $R_1 \ll R$. Сопротивление датчика $R_1 = 700$ *ом*. Продолжительность импульса логарифмически зависит от сопротивления датчика. Для спрямления шкалы на приемной стороне осуществляется обратное функциональное преобразование.

Основная погрешность передатчика вместе с приемником без датчика и выходного прибора составляет 1,5%. Дополнительные погрешности при изменении окружающей температуры от $-40°$ C до $+40°$ C или напряжения источников питания на $\pm 15\%$ составляют 1%.

Приемное устройство время-импульсной системы с экспоненциальным преобразователем работает совместно с передающим устройством и осуществляет преобразование время-импульсного сигнала в постоянный ток, пропорциональный величине измеряемого параметра. Блок-схема устройства приведена на рис. 12. В момент начала посылки с ДП на контролируемый пункт импульса напряжения прямоугольной формы замыкается ключ *К* и начинается зарядка конденсатора *С* через сопротивление *R*. Когда с контролируемого пункта приходит сигнал звуковой частоты, соответствующий кон-

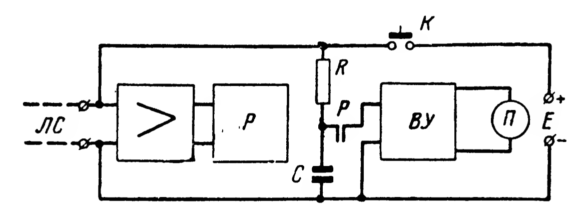


Рис. 12. Приемник время-импульсной системы телеизмерения типа ВСТ-1.

ЛС — линия связи; *Р* — реле; *ВУ* — выходное устройство; *К* — ключ; *П* — указывающий прибор.

цу зарядки конденсатора, то от усиленного сигнала звуковой частоты кратковременно срабатывает реле *Р*, контакт которого подсоединяет на короткое время конденсатор *С* к конденсатору памяти выходного устройства *ВУ*. Конденсатор памяти, включенный на входе балансного катодного повторителя, сохраняет напряжение конденсатора *С* до следующего цикла. Благодаря тому, что *RC*-цепочки в приемнике и передатчике имеют одинаковые постоянные времени, достигается обратное функциональное преобразование в приемнике и обеспечивается линейная зависимость между величиной измеряемого параметра и показанием выходного прибора *П*. Ток через указывающий прибор составляет 1—1,5 *ма*.

4. ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОЙ ГРУППЫ

а) Общие свойства систем частотной группы

Как уже было сказано, в частотных системах телеизмерения применяются либо частотная импульсная модуляция, либо частотная модуляция синусоидальных колебаний. Соответственно различают частотно-импульсные системы и частотные системы переменного тока, последние для краткости обычно называют просто частотными системами. Различие двух этих разновидностей систем до последнего времени определялось не только видом сигнала (импульсы или переменный ток), но и конструктивными особенностями аппаратуры. Как правило, частотно-импульсные системы выполнялись с электромеханической аппаратурой, что ограничивало частоту следования импульсов областью инфранизких частот (до нескольких герц, предельно до 10—12 *гц*). Напротив, частотные системы переменного тока строились на электронной аппаратуре, что позволяло выбирать диапазон рабочих частот, лишь исходя из полосы частот имеющих-

сй каналов связи. Так, например, были выполнены системы как для низких частот (порядка десятков герц), так и для более высоких частот (примерно до 10 *кгц*).

В современных частотно-импульсных системах электромеханические элементы аппаратуры отсутствуют, поэтому можно повысить предел рабочих частот. Однако и у новых конструкций рабочие частоты обычно не превышают 15—20 *гц*.

В промышленных телеизмерительных системах, работающих по проводным линиям связи, обычно используются каналы с относительно узкими полосами пропускания 100—140 *гц*, реже до 300—500 *гц*. При этом возможны два способа передачи сигналов частотных систем.

При первом способе осуществляется непосредственная передача синусоидальных сигналов телеизмерения. При этом необходимая минимальная полоса частот канала связи

$$\Delta F_{\text{к}} = f_{\text{н}} - f_0,$$

где f_0 — начальная частота телеизмерения (при нуле измеряемой величины), а $f_{\text{н}}$ — частота, отвечающая номинальному значению измеряемой величины.

При заданной полосе частот $\Delta F_{\text{к}}$ коэффициент изменения частоты $k_f = f_{\text{н}}/f_0$ ограничивается значением

$$k_f = \frac{2f_{\text{ср}} + \Delta F_{\text{к}}}{2f_{\text{ср}} - \Delta F_{\text{к}}},$$

где

$$f_{\text{ср}} = \frac{f_0 + f_{\text{н}}}{2}.$$

Очевидно, что чем больше $f_{\text{ср}}$ по сравнению с $\Delta F_{\text{к}}$, тем ближе к единице будет предельное (максимальное) значение k_f.

При втором способе передача осуществляется путем амплитудной или частотной модуляции несущих колебаний сигналом телеизмерения. При амплитудной модуляции синусоидальным сигналом телеизмерения максимальная полоса частот, которую должен пропускать канал связи,

$$\Delta F_{\text{к.м}} = 2f_{\text{н}}.$$

Такая же полоса необходима и при частотной модуляции с индексом модуляции $\beta = 1$. Таким образом, ограничивается лишь верхняя частота сигнала $f_{\text{н}}$, тогда как k_f может быть сколь угодно большим.

При импульсной передаче для сохранения достаточно крутых фронтов импульсов необходимая полоса частот должна в несколько раз превышать частоту следования импульсов. Так, например, при равной продолжительности импульса и паузы необходимо передать не менее 3-й или 5-й гармоник частоты следования импульсов, т. е. расширить полосу частот в 3—5 раз по сравнению с передачей синусоидального сигнала.

Указанными соображениями руководствуются при выборе диапазонов рабочих частот телеизмерения. Практически для частотно-

импульсных систем, как было сказано, используются частоты следования импульсов не более 20 *гц*, что позволяет осуществлять передачу с амплитудной или узкополосной частотной модуляцией по каналам с полосой частот 100—140 *гц*. При этом получается $k_f=4-10$.

Частотные системы при этом способе передачи применяются с $f_н \leqslant 45$ *гц* и $k_f=1{,}5-2$. Для непосредственной передачи сигнала используются частоты сигналов телеизмерения с $f_{ср}=320-5\,500$ *гц* при $k_f=1{,}05-1{,}2$.

Следует отметить, что величина k_f оказывает значительное влияние на точность телеизмерения. Действительно, погрешность Δf в настройке передатчика или приемника при подсчете обусловленной ею погрешности телеизмерения должна быть отнесена к рабочему диапазону изменения частот $f_0-f_н$. Таким образом, можем записать выражение для относительной погрешности телеизмерения:

$$\delta_f=\frac{\Delta f}{f_н-f_0}=\frac{k_f}{k_f-1}\delta f_н,$$

где $\delta f_н=\frac{\Delta f}{f_н}$ — относительная ошибка по частоте.

Очевидно, что по мере уменьшения k_f при данной Δf погрешность будет быстро возрастать. Так, например, при $k_f=10$ погрешность телеизмерения превышает $\delta f_н$ всего на 10%, а при $k_f=1{,}1$ — в 11 раз. Поэтому требования к стабильности основных элементов телеизмерительной системы — передатчика и приемника — при малых k_f значительно возрастают.

б) Частотно-импульсные системы

Первые устройства частотно-импульсной системы телеизмерения начали выпускаться в США и Германии в двадцатых годах (фирмы Вестингауз, Сименс и АЭГ). Эти устройства предназначались для телеизмерения мощности и выполнялись на базе индукционных счетчиков с контактными прерывателями. В качестве приемных устройств использовались электромеханические и контактные конденсаторные и трансформаторные преобразователи. В Советском Союзе частотно-импульсные системы начали разрабатываться в начале тридцатых годов в ОЛИЗ завода «Электроприбор» и ЦЛЭМ Мосэнерго. Вначале аппаратура частотно-импульсной системы выполнялась в основном на электромеханических элементах (индукционные счетчики электроэнергии с коллектором-прерывателем и электромагнитные реле). С развитием электроники, магнитных усилителей и преобразователей появились статические бесконтактные частотно-импульсные устройства. Эти устройства в СССР разрабатывались в ЦЛЭМ Мосэнерго, ЦНИИКА, ИАТ.

Преобразование величины измеряемого параметра в частоту импульсов ведется двумя основными способами:

а) Преобразование величины измеряемого параметра в скорость вращения какого-либо устройства, которая при помощи коммутирующего устройства преобразуется в частоту импульсов. Такие преобразователи выполняются большей частью на основе либо индукционных счетчиков электрической энергии, либо счетчиков энергии

постоянного тока. При этом используется как непосредственное преобразование значения измеряемой величины в скорость вращения, так и преобразование во вспомогательный параметр, который затем преобразуется в скорость вращения.

б) Преобразование величины измеряемого параметра в постоянный ток (или напряжение), который посредством релаксационного генератора или мультивибратора преобразуется в частоту импульсов. Эти устройства могут быть выполнены как на релейно-контактных, так и на статических бесконтактных элементах. По своей структуре они подразделяются на небалансные и балансные (компенсационные) с отрицательной обратной связью по частоте импульсов.

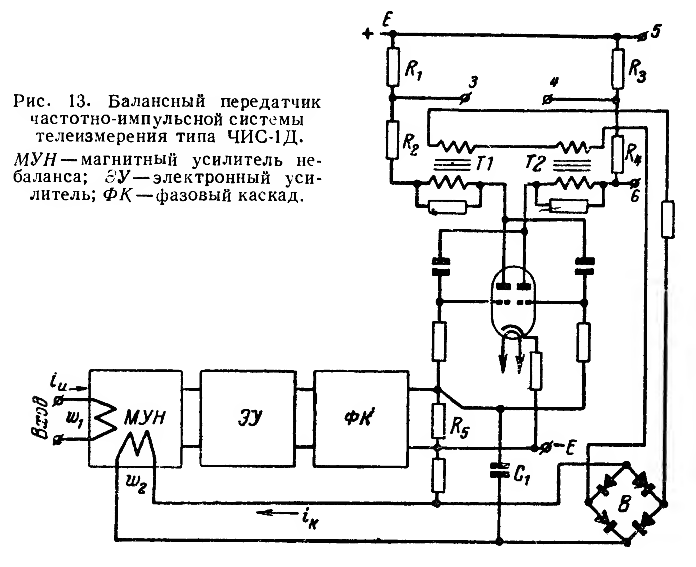


Рис. 13. Балансный передатчик частотно-импульсной системы телеизмерения типа ЧИС-1Д.
МУН — магнитный усилитель небаланса; *ЭУ* — электронный усилитель; *ФК* — фазовый каскад.

Наиболее перспективны бесконтактные статические передающие устройства частотно-импульсной системы телеизмерения, преобразующие напряжение постоянного тока в частоту импульсов.

В приемном устройстве преобразование частоты импульсов в величину постоянного тока в большинстве случаев осуществляется электрическими приемниками.

В таких приемниках каждый импульс или пауза (или то и другое) преобразуется в строго определенный электрический заряд. В качестве элементов, дозирующих электрический заряд, могут использоваться конденсаторы, трансформаторы, дроссели и специальные одновибраторы. Электронные конденсаторные и трансформаторные приемники, используемые в частотно-импульсных устройствах и в частотных системах переменного тока, отличаются только входными устройствами и диапазонами частот.

Частотно-импульсная система ЦЛЭМ Мосэнерго с балансным передающим устройством. Передающее устройство типа ЧИС-1Д было разработано в ЦЛЭМ Мосэнерго в 1955 г. [Л. 11]. На рис. 13 приведена принципиальная схема устройства.

На входе по управляющей обмотке магнитного усилителя небаланса (МУН) w_1 протекает постоянный ток $i_и$, пропорциональный измеряемому параметру. В качестве усилителя небаланса в устройстве используется магнитный модулятор, собранный по мостовой схеме. Под действием созданной намагничивающей силы на выходе усилителя небаланса появляется напряжение первой гармоники, которое после усиления электронным усилителем (ЭУ) поступает на вход фазового каскада (ФК). Последний усиливает напряжение и выпрямляет его. Электронный усилитель и фазовый каскад выполнены на одной лампе 6Н9С. Постоянное напряжение с выхода фазового каскада (с сопротивления R_5) подается на сетки мультивибратора. В зависимости от величины этого напряжения изменяется смещение, подаваемое на сетки мультивибратора, а следовательно, и частота импульсов, генерируемых последним. В анодные цепи мультивибратора включены первичные обмотки трансформаторов *T1* и *T2* компенсационного трансформаторного преобразователя, дающего компенсационный ток, пропорциональный частоте. Вторичные обмотки трансформаторов *T1* и *T2* включены так, чтобы при скачкообразном возрастании тока в цепи одного триода и уменьшении тока в цепи другого напряжения, наводимые во вторичных обмотках, суммировались. Суммарное напряжение, пропорциональное частоте генерируемых импульсов и в довольно широких пределах не зависящее от изменения напряжения питания мультивибратора, выпрямляется купроксным мостом *B*. Выпрямленный ток $i_к$ протекает через компенсационную обмотку *МУН*, осуществляя отрицательную обратную связь по выходной частоте. Независимость компенсационного тока $i_к$ от напряжения питания мультивибратора обусловлена тем, что сердечники трансформаторов *T1* и *T2* при протекании через них импульсов анодного тока находятся в насыщенном состоянии.

Передающее устройство ЧИС-1Д может работать совместно с индукционно-выпрямительными датчиками завода «Электропульт» без применения стабилизатора напряжения для питания последних. В этом случае необходимо заменить трансформаторы *T1* и *T2* с сердечниками из пермаллоя трансформаторами с сердечниками из обычной стали (например Э4А). Тогда при прохождении импульсов постоянного тока через первичную обмотку во вторичной обмотке при нарастании и спадании тока будут наводиться импульсы, амплитуда которых пропорциональна напряжению питания, так как сердечники не будут насыщены. Таким образом, как измерительный, так и компенсационный токи будут линейно зависеть от напряжения питания, а частота импульсов не будет зависеть от напряжения питания.

Найдем величину отношения $\frac{\Delta K/K}{\Delta\mu/\mu}$, где K — коэффициент преобразования в схеме с обратной связью; ΔK — изменение коэффициента преобразования при наличии обратной связи; μ — коэффициент преобразования в схеме без обратной связи; $\Delta\mu$ — изменение коэффициента преобразования без обратной связи.

Это отношение соответствует выражению для коэффициента статизма δ:

$$\delta = \frac{K}{\mu}.$$

Отсюда следует, что введение отрицательной обратной связи уменьшает относительную погрешность устройства во столько раз, во сколько уменьшится коэффициент преобразования устройства, или с уменьшением статизма системы уменьшается погрешность устройства. В передатчике ЧИС-1Д статизм не превышает 4%. Однако компенсационный преобразователь частоты в ток не охватывается обратной связью. Погрешность компенсационного преобразователя сказывается как изменение коэффициента обратной связи $\beta = \frac{i_к}{f}$, где $i_к$ — компенсационный ток, а f — частота импульсов. Так как $f = \frac{\mu i_и}{1 + a\mu\beta}$, где a — коэффициент пропорциональности, то

$$df = -\frac{a\mu^2 i_и}{(1 + a\mu\beta)^2} d\beta$$

или

$$\Delta f = -\frac{a\mu^2 i_и}{(1 + a\mu\beta)^2} \Delta\beta.$$

Погрешность, вызванная изменением коэффициента обратной связи на величину $\Delta\beta$,

$$\alpha\% = \frac{\Delta f}{f_н - f_0} 100\% = -\frac{a\mu\Delta\beta}{1 + a\mu\beta} \cdot \frac{i_и}{i_{и.н}} \cdot \frac{100\%}{1 - \frac{f_0}{f_н}},$$

где f_0 и $f_н$ — нулевая и номинальная частоты;

$i_{и.н}$ — номинальный ток.

При $a\mu\beta \gg 1$ погрешность

$$\alpha\% = -\frac{\Delta\beta}{\beta} 100\% \frac{i_и}{i_{и.н}\left(1 - \frac{f_0}{f_н}\right)}.$$

Таким образом, погрешность, вносимая компенсационным преобразователем, пропорциональна относительному изменению коэффициента обратной связи и отношению измеряемого тока к его номинальному значению. С увеличением отношения частот, соответствующих нулю и номиналу измеряемого параметра, погрешность возрастает.

Смещение нуля усилителя небаланса сдвигает характеристику передатчика параллельно самой себе. Обозначим через $\pm\Delta i_0$ смещение нуля усилителя небаланса, приведенное ко входу. Суммарный сигнал, действующий на усилитель небаланса с учетом смещения нуля, будет $i_и - i_к \pm \Delta i_0$. Следовательно, смещение нуля усилителя небаланса не компенсируется отрицательной обратной связью, а действует как изменение сигнала. Для повышения устойчивости в схему, кроме жесткой обратной связи, введена гибкая отрицательная обратная связь, осуществляемая при помощи конденсатора C_1. При изменении падения напряжения на сопротивлении R_5,

которое в первом приближении пропорционально частоте генерируемых импульсов, конденсатор C_1 либо заряжается, либо разряжается. Ток зарядки или разрядки $i=C_1 \frac{du}{dt}$, протекая через компенсационную обмотку усилителя небаланса, стремится уменьшить изменение напряжения на сопротивлении R_5, вызвавшее этот ток. В результате устраняются колебания частоты импульсов.

Телепередача показаний может осуществляться как по выделенным линиям импульсами чередующейся полярности, так и по частотно-уплотненным линиям связи и радиоканалу. В первом случае линия связи подключается непосредственно к зажимам *3* и *4*. Во втором случае производится манипуляция или генератора, используемого для уплотнения телефонной линии связи, или радиопередатчика, или генератора поднесущей частоты высокочастотного поста (при передаче по линии электропередач) напряжением на анодных сопротивлениях (R_3+R_4) или импульсами чередующейся полярности, как в первом случае.

Частота импульсов передающего устройства изменяется от 1 до 10 *гц*. Минимальный номинальный входной ток устройства равен 150 *мка* при входном сопротивлении 200 *ом*.

Основная погрешность передающего устройства не превышает $\pm 1\%$. Дополнительные погрешности при изменении напряжения питания на $\pm 15\%$, при изменении частоты сети от 46 до 51 *гц*, при изменении температуры на $\pm 15°$ C также не превышают 1%.

Приемником в описываемой телеизмерительной системе служит конденсаторный частотомер с электромагнитным реле.

В 1958 г. ЦЛЭМ Мосэнерго была проведена работа по замене электронных ламп в передатчике ЧИС-1Д полупроводниковыми триодами. Был разработан передатчик ЧИС-2Д с диапазоном частот от 4 до 20 *гц* *.

Телеизмерительная система ЦНИИКА. В этой системе используется статический небалансный передатчик, преобразующий постоянный ток или напряжение в пропорциональную им частоту импульсов.

На рис. 14,*а* приведена схема мультивибратора — преобразователя постоянного напряжения в пропорциональную частоту импульсов [Л. 12]. Основным звеном схемы служит трансформатор *Т* с сердечником, имеющим прямоугольную петлю гистерезиса (рис. 14,*б*). При подаче на вход схемы напряжения U в силу неидентичности характеристик полупроводниковых триодов ток коллектора одного из них (например, *ПТ-1*) будет больше, чем у другого (*ПТ-2*). Магнитный поток в сердечнике с изменением токов также изменяется. Обмотки w_1 включены так, чтобы на базе триода *ПТ-1* наводился отрицательный потенциал, а на базе *ПТ-2* — положительный. Это приводит к дальнейшему увеличению коллекторного тока триода *ПТ-1* и уменьшению тока триода *ПТ-2*. В результате триод *ПТ-1* полностью открывается, а триод *ПТ-2* закрывается. При этом сердечник трансформатора перемагничивается по ветви *1—2—3* петли гистерезиса (рис. 14,б). Когда индукция *B* в сердечнике достигнет величины, соответствующей точке *3*

* Передатчик с близкими характеристиками был в 1958 г. разработан в ИАТ.

на кривой намагничивания, э. д. с., наводимые в обмотках w_1, резко уменьшаются. Ток триода *ПТ-1* спадает, а ток *ПТ-2* растет и в обмотках w_1 наводятся э. д. с. обратного знака. В результате триод *ПТ-1* закрывается, а триод *ПТ-2* открывается. Происходит процесс перемагничивания сердечника по ветви *4—5—6* петли гистерезиса, пока индукция B в сердечнике не достигнет величины, соответствующей точке *6*. Далее процесс повторяется периодически.

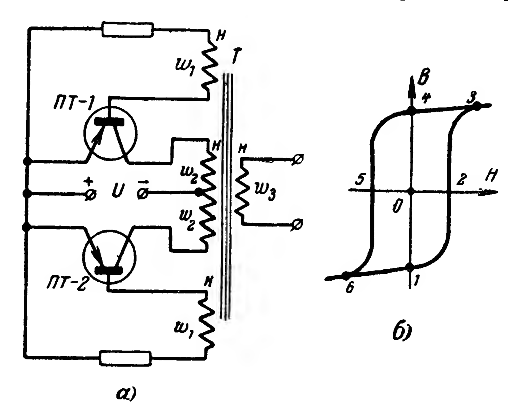


Рис. 14. Преобразователь напряжения в пропорциональную частоту импульсов.
а—схема; *б*—кривая намагничивания сердечника.

Частота мультивибратора определяется временем перемагничивания сердечника.

В первом приближении время перемагничивания может быть определено из выражения

$$U = w_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

После интегрирования и соответствующих преобразований определяется время, необходимое для перемагничивания сердечника от $-\Phi_{\text{макс}}$ до $+\Phi_{\text{макс}}$:

$$\frac{T}{2} = \frac{2\Phi_{\text{макс}} w_2}{U},$$

откуда частота

$$f = \frac{U}{4 w_2 \Phi_{\text{макс}}}.$$

Управление частотой мультивибратора может осуществляться не только изменением входного напряжения U, но и изменением потока Φ при помощи подмагничивающего тока [Л. 13]. В этом случае перемагничивание сердечника осуществляется по частным циклам гистерезиса. С увеличением тока подмагничивания умень-

шается петля, по которой происходит перемагничивание, так как ток препятствует размагничиванию. При этом частота импульсов растет.

Сравнивая мультивибраторы, управляемые напряжением, с мультивибраторами, управляемыми током, необходимо отметить, что первые при более простой схеме обеспечивают лучшую линейность характеристики, чем вторые [Л. 15]. Это и определило использование в передающих устройствах телеизмерения мультивибраторов с перемагничиванием по полной петле гистерезиса. Далее будет

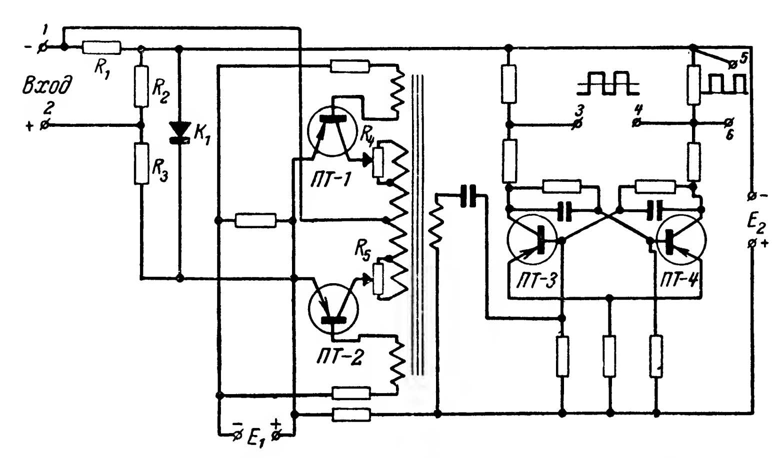


Рис. 15. Передатчик частотно-импульсной системы телеизмерения ЧИ-1Д.

показано, как при помощи простых вспомогательных устройств можно перейти от управления напряжением к управлению током.

В ЦНИИКА были разработаны два варианта передающего устройства частотно-импульсной системы телеизмерения с такими мультивибраторами: устройство со входом по напряжению (тип ЧИ-1Д) и устройство со входом по току (тип ЧИ-2Д) [Л. 16]. Частотный диапазон устройств 4—20 *гц*.

На рис. 15 изображена схема передающего устройства со входом по напряжению. На вход мультивибратора подается измеряемое напряжение, а также напряжение смещения нуля, необходимое для того, чтобы на выходе мультивибратора при нуле входного напряжения была нулевая частота $f_0=4$ *гц*. Напряжение смещения нуля стабилизируется кремниевым опорным диодом K_1. Смещение нуля осуществляется от источника напряжения E_2 при помощи сопротивлений R_1, R_2 и R_3. Часть стабилизированного напряжения включается последовательно с входным напряжением, а другая, снимаемая с R_2, включается параллельно входному напряжению.

Для более надежной работы схемы при малых частотах и уменьшения нагрузки датчика используется добавочный источник напряжения E_1.

Потенциометры R_4 и R_5, включенные параллельно частям намагничивающих обмоток мультивибратора, позволяют регулировать

выходную частоту последнего на ±(8—10)% и тем самым производить подстройку частоты при разбросе характеристик сердечников [Л. 15].

Так как напряжение на выходе мультивибратора линейно зависит от напряжения на его входе, то к выходной обмотке мультивибратора в качестве усилителя-ограничителя подключена триггерная схема на триодах *ПТ-3* и *ПТ-4*. На выходе триггера можно получить как двухполярные (зажимы *3* и *4*), так и однополярные (зажимы *5* и *6*) импульсы.

Недостатком рассмотренной схемы является то, что входное сопротивление мультивибратора не постоянно, а повышается с уве-

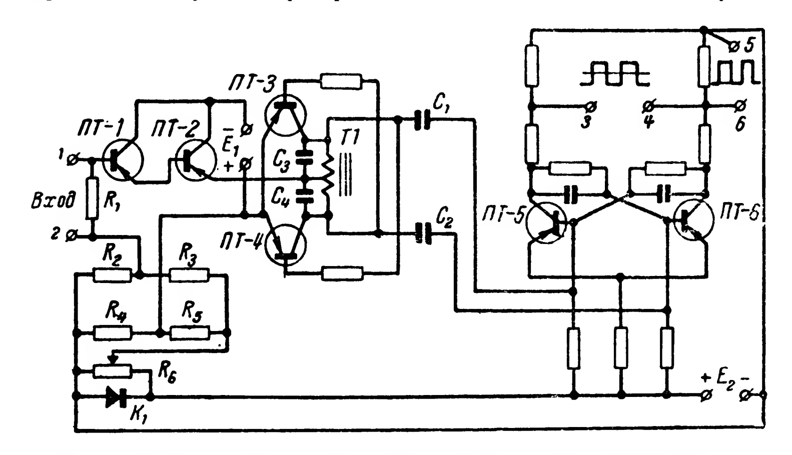


Рис 16. Передатчик частотно-импульсной системы телеизмерения ЧИ-2Д.

личением входного напряжения. Таким образом, если схему, приведенную на рис. 15, использовать с датчиками, выходной ток которых пропорционален измеряемому параметру, то необходимо параллельно входным зажимам устройства включить постоянное шунтирующее сопротивление, уменьшающее изменения входного сопротивления мультивибратора. При этом значительно повышаются требования к выходной мощности датчика.

Входная мощность мультивибратора равна 5—6 *мвт* при входном напряжении 2 *в*. Основная погрешность устройства (отклонение от линейной расчетной характеристики) при работе от датчика с токовым выходом не превышает 1,5%. Дополнительные погрешности устройства при колебаниях напряжения сети на ±15%, частоты сети от 46 до 51 *гц* и температуры от 20 до 45° С не превышают 1%. Время установления частоты импульсов при изменении входного сигнала от номинала до нуля не превышает 0,1 *сек*.

На рис. 16 приведена схема передающего устройства со входом по току — ЧИ-2Д. К входным зажимам устройства (*1*, *2*) подключается датчик с токовым выходом, который создает на входном сопротивлении R_1 двухкаскадного эмиттерного повторителя, выполнен-

ного на триодах *ПТ-1* и *ПТ-2*, падение напряжения, пропорциональное измеряемому параметру. Эмиттерный повторитель усиливает по мощности сумму входного напряжения и напряжения смещения нуля, снимаемого с диагонали моста, который состоит из сопротивлений R_2, R_3, R_4 и R_5.

Мост питается стабилизированным напряжением, снимаемым с потенциометра R_6. Напряжение стабилизируется кремниевым опорным диодом K_1. Таким образом, на вход несколько видоизмененного мультивибратора подается напряжение постоянного тока, равное сумме падения напряжения на сопротивлении R_1 и напряжения смещения нуля. В схеме мультивибратора, приведенной на рис. 16, намагничивающие обмотки трансформатора *Т1* одновременно используются для управления триодами.

Скачкообразные изменения напряжения на коллекторах триодов *ПТ-3* и *ПТ-4* через конденсаторы C_1 и C_2 подаются на базы триодов *ПТ-5* и *ПТ-6* выходного триггера. Для более устойчивой работы мультивибратора при малых входных сигналах и колебаниях температуры окружающей среды параллельно обмоткам трансформатора *Т1* включаются конденсаторы C_3 и C_4.

Термокомпенсация нулевого коллекторного тока эмиттерного повторителя осуществляется при помощи моста (R_2, R_3, R_4 и R_5), сопротивление R_2 которого выполнено из меди.

Потребление входной цепи передатчика от датчика 1,5—2 *мвт* при номинальном токе 1 *ма*. Основная погрешность устройства 0,5%. Дополнительные погрешности при изменении напряжения питания на ±15%, изменении температуры окружающей среды от 20° С до 50° С, изменении частоты сети от 46 до 51 *гц* не превышают 1%.

Следует заметить, что по точности описываемый небалансный частотно-импульсный преобразователь примерно аналогичен более сложному балансному (система ЦЛЭМ). Правда, небалансный передатчик требует большей мощности входного сигнала.

В системе ЦНИИКА применяется несколько разновидностей приемных устройств.

Приемное устройство типа ЧИ-1П (рис. 17) представляет собой конденсаторный частотомер, питаемый от общего стабилизатора диспетчерского пункта стабилизированным напряжением $U_{стаб} = 45$ *в*. Это напряжение подается на делитель R_1, R_2. Так как сопротивление $R_1 \ll R_2$, то падение напряжения на сопротивлении R_4 при отсутствии сигнала на входе близко к стабилизированному напряжению и мало зависит от изменения характеристик коммутирующего триода *ПТ-1*. Последний управляется усиленным входным сигналом. Когда падение напряжения на сопротивлении R_3 становится больше падения напряжения на сопротивлении R_1, триод закрывается. Таким образом, при подаче на входе схемы импульсов конденсатор C_1 периодически заряжается. Зарядный и разрядный токи, протекая через вентили выпрямительного мостика *В*, проходят по рамке магнитоэлектрического прибора *П*, измеряющего среднее значение тока. Так как при нулевой частоте, равной 4 *гц*, ток, протекающий через прибор, должен равняться нулю, то необходимо иметь устройство смещения нуля *СН*. Устройство смещения нуля представляет собой выпрямитель с кремниевым опорным диодом на выходе. Часть напряжения с диода подается в измерительную цепь.

Номинальный ток на выходе устройства 1 *ма* при сопротивлении измерительной цепи 300 *ом*. Основная погрешность 1,5%.

В приемном устройстве типа ЧИ-2П (рис. 18) конденсаторный частотомер питается от индивидуального стабилизатора напряже-

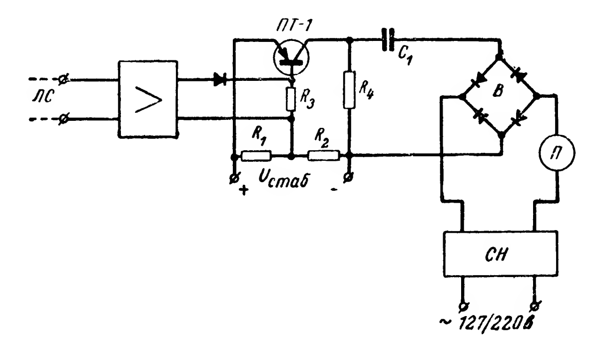


Рис. 17. Приемник частотно-импульсной системы типа ЧИ-1П.
ЛС — линия связи; *СН* — смещение нуля; *П* — указывающий прибор.

ния, регулирующий триод которого *ПТ-1* одновременно используется в качестве коммутирующего элемента. Схема состоит из стабилизатора напряжения на триодах *ПТ-1* и *ПТ-2*. Потенциал эмиттера триода *ПТ-2* стабилизируется опорным диодом *К*. На базу триода

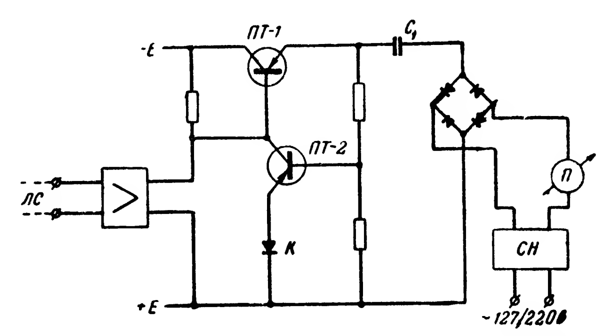


Рис. 18. Приемник частотно-импульсной системы типа ЧИ-2П.
ЛС — линия связи; *СН* — смещение нуля; *П* — указывающий прибор.

ПТ-1 подается усиленный сигнал с линии связи, который во время импульсов или пауз запирает *ПТ-1*. Таким образом, конденсатор C_1 в такт поступающим импульсам то заряжается до стабилизированного напряжения, то разряжается. В остальном работа приемника ЧИ-2П аналогична работе приемника ЧИ-1П. Выходные данные обоих приемников одинаковы

Малая мощность на выходе конденсаторного приемника, большое отношение максимального тока, протекающего через прибор, к его среднему значению определили необходимость создания нового приемника с повышенной выходной мощностью и уменьшенным отношением максимального тока к его среднему значению.

В приемнике типа ЧИ-3П в качестве элемента, дозирующего электрический заряд, используется специальный одновибратор. Последний выдает импульсы, у которых произведение амплитуды на длительность постоянно и в широких пределах не зависит от коле-

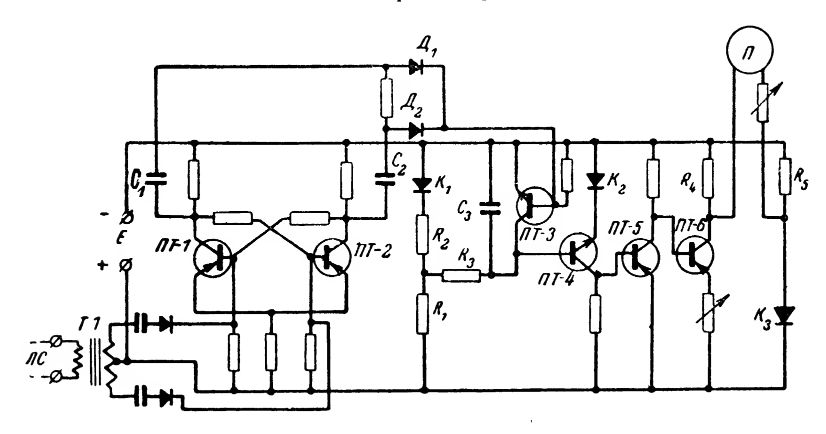


Рис. 19. Приемник частотно-импульсной системы телеизмерения ЧИ-3П.

баний напряжения питания и температуры. Упрощенная схема приемника приведена на рис. 19.

Сигналы с линии связи через входной трансформатор *Т1* поступают на триггер, собранный на двух полупроводниковых триодах *ПТ-1* и *ПТ-2*, который усиливает и формирует импульсы, приходящие из канала связи. При помощи конденсаторов C_1 и C_2 и диодов $Д_1$ и $Д_2$ получаются короткие импульсы, соответствующие переднему и заднему фронтам импульсов, сформированных триггером. Эти короткие импульсы кратковременно открывают триод *ПТ-3*, и конденсатор C_3 разряжается. После разрядки конденсатора C_3 начинается его зарядка через сопротивление R_3 от напряжения, снимаемого с сопротивления R_2 и опорного кремниевого диода K_1. До тех пор, пока напряжение на конденсаторе C_3 не достигнет величины, равной напряжению стабилизации кремниевого диода K_2, триоды *ПТ-4* и *ПТ-5* закрыты, триод *ПТ-6* открыт, и через указывающий прибор *П*, включенный в диагональ моста, образованного триодом *ПТ-6*, сопротивлениями R_4 и R_5 и опорным кремниевым диодом K_3, протекает импульс тока. Когда напряжение на конденсаторе C_3 достигнет напряжения стабилизации кремниевого диода K_2, триод *ПТ-4* открывается. При этом открывается триод *ПТ-5* и закрывается триод *ПТ-6*.

Таким образом, через указывающий прибор протекает импульс тока строго определенной длительности. Указывающий прибор вклю-

чается в диагональ моста, настроенного таким образом, чтобы при начальной частоте 4 *гц* ток через прибор был равен нулю.

При колебаниях напряжения питания изменяется как амплитуда импульса, так и его длительность. С увеличением напряжения питания амплитуда импульса растет линейно, а длительность импульса уменьшается. Для того чтобы увеличение амплитуды импульса можно было компенсировать уменьшением его длительности, необходимо несколько уменьшить изменение напряжения на выходном сопротивлении делителя. С этой целью последовательно с сопротивлением R_2 включен опорный кремниевый диод K_1. Для получения независимости выходного тока приемника от колебания напряжения на ±15% с точностью 0,5% не требуется специального подбора величины сопротивления R_2 в зависимости от характеристик диода K_1. Ток на выходе приемника изменяется от 0 до 6 *ма* при сопротивлении измерительного шлейфа 1 500 *ом* и диапазоне частот от 4 до 20 *гц*. При изменении температуры окружающей среды от +20° С до +45° С дополнительная погрешность не превышает 1%. Разброс характеристик полупроводниковых триодов мало сказывается на регулировке приемника.

в) Частотные системы

Частотные телеизмерительные системы успешно внедряются в энергетических системах нашей страны, начиная с 1948—1949 гг. В этот период в тресте ОРГРЭС и Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории Министерства электростанций ЦНИЭЛ (позднее преобразована во ВНИИ Электроэнергетики — ВНИИЭ) были разработаны первые частотные телеизмерительные системы на электронных лампах.

Телеизмерительная аппаратура «ОРГРЭС — Электропульт» [Л. 1, 8 и 17]. Особенно распространена в энергетике аппаратура, разработанная в ОРГРЭС. С 1951 г. эта аппаратура была освоена и изготавливалась заводом «Электропульт». Характерная особенность системы телеизмерения «ОРГРЭС — Электропульт» — непосредственная передача сигналов телеизмерения (см. выше). При этом для каждого передатчика диапазон звуковых частот выбирается индивидуально в зависимости от полосы пропускания канала связи. Рабочие диапазоны частот располагаются в пределах примерно от 300 до 3 300 *гц*, а коэффициент изменения частоты k_f равен 1,1. Передатчик телеизмерения представляет собой двухламповый *RC*-генератор с последовательно-параллельной фазирующей схемой. В качестве первичного преобразователя используется стрелочный измерительный прибор, сочлененный с емкостным датчиком в виде прямоемкостного переменного конденсатора. В зависимости от диапазона рабочих частот максимальная емкость конденсатора путем подключения секций может быть выбрана равной 75, 150 или 300 *пф*. Зависимость частоты сигнала от угла отклонения стрелки измерительного прибора $\alpha_и$ нелинейна:

$$f = \frac{1}{\sqrt{k_1 - k_2\alpha_и}},$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты.

Приемник был выполнен в двух вариантах. В упрощенном варианте — это детекторный частотомер с резонансным контуром и магнитоэлектрическим логометром, подключаемый к каналу связи через усилитель-ограничитель. Последний усиливает сигнал, стабилизирует его величину, ограничивая амплитуду, и устраняет паразитную амплитудную модуляцию сигнала помехой. Кроме того, усилитель-ограничитель содержит избирательный усилитель и, таким образом, выполняет функции узкополосного фильтра, что также повышает помехоустойчивость.

В другом варианте приемник представляет собой балансную схему с настраиваемым частотным детектором. Принцип действия такой схемы, впервые реализованный в телеизмерительной аппаратуре швейцарской фирмы Броун-Бовери [Л. 20], поясняет блок-схема рис. 20.

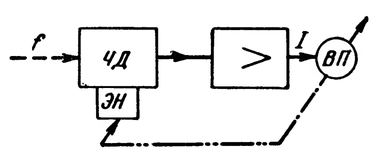


Рис. 20. Блок-схема балансного приемника частотной системы.

ЧД — частотный детектор; *ЭН* — элемент настройки *ЧД*; *ВП* — выходной прибор.

Приемник содержит частотный детектор *ЧД* с элементом настройки *ЭН*, усилитель и выходной прибор *ВП*. Последний механически связан с элементом настройки частотного детектора. С помощью *ЭН* частотный детектор может быть настроен на определенную частоту $f_д$. Если частота сигнала f совпадает с $f_д$, напряжение на входе усилителя равно нулю; при отклонении частоты сигнала от $f_д$ напряжение на входе усилителя приблизительно пропорционально разности $f—f_д$. Усиленный сигнал питает выходной прибор. Отклонение последнего вызывает подстройку частотного детектора и уменьшение разности частот $f—f_д$. Таким образом, с помощью *ЭН* осуществляется отрицательная обратная связь по току выхода (точнее, по углу отклонения выходного прибора).

В установившемся режиме получается следующая зависимость тока выхода от частоты:

$$I = \frac{k}{1 + k\beta}(f - f_0),$$

где f_0 — начальная частота диапазона;
k — коэффициент прямого преобразования;
β — коэффициент обратного преобразования (обратной связи).

Наличие обратной связи сводит к минимуму погрешности, вызванные нестабильностью усилителя.

В балансном приемнике ОРГРЭС в качестве частотного детектора применена *RC*-схема в сочетании с фазочувствительным усилителем. Элементом настройки служит прямоемкостный конденсатор переменной емкости. При этом зависимость $f_д$ от угла отклонения выходного прибора нелинейна и имеет такой же характер, как и у передатчика с *RC*-генератором. Поэтому результирующая зависимость тока выхода приемника от отклонения первичного измерительного прибора на передающей стороне практически линейна. Прибор с конденсатором обратной связи установлен в приемнике и не используется для отсчета показаний, последовательно с ним

включаются дублирующие указывающие или регистрирующие приборы. Максимальное значение тока на выходе приемника 17 *ма* при сопротивлении нагрузки до 2 000 *ом*.

Аппаратура системы ОРГРЭС — «Электропульт» достаточно подробно описана в литературе, и поэтому здесь приведены только общие сведения о ней. В настоящее время завод «Электропульт» прекратил выпуск этой аппаратуры.

Телеизмерительная аппаратура ТНЧ-56 и ТНЧ-2 [Л. 17—19]. В 1954—1955 гг. заводом «Электропульт» совместно с ЦНИИЭЛ

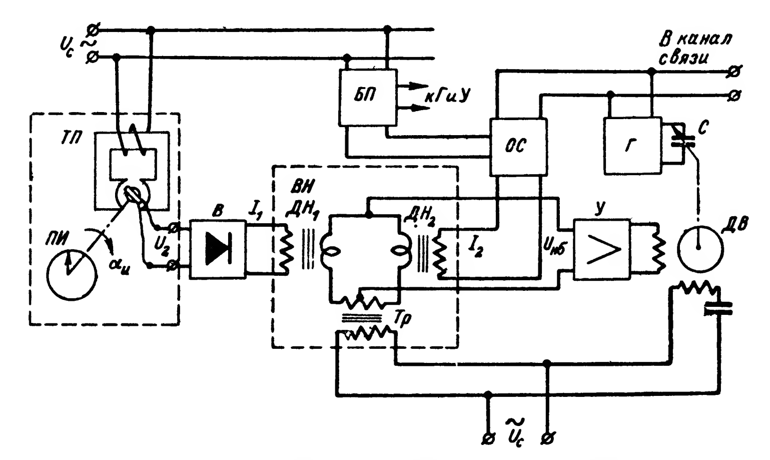


Рис. 21. Передатчик телеизмерения системы ТНЧ-56.

ПИ — первичный измерительный прибор; *ТП* — трансформаторный преобразователь; *В* — выпрямитель; *ВН* — выявитель небаланса; *ОС* — узел обратной связи; *Г* — генератор; *У* — усилитель; *ДВ* — реверсивный двигатель; *БП* — блок питания.

была разработана телеизмерительная аппаратура так называемой «низкочастотной системы» для телеконтроля на первых линиях электропередачи 400 *кв*. Эта аппаратура в основном вытеснила в производстве описанную выше аппаратуру ОРГРЭС — «Электропульт» и с 1956 г. выпускалась серийно под маркой ТНЧ-56. Аппаратура рассчитана на работу по каналам с полосой пропускания 100—120 *гц* по методу модуляции несущих колебаний с унифицированным диапазоном рабочих частот от 27 до 44 *гц* и линейной зависимостью частоты от измеряемого параметра (с увеличением последнего частота уменьшается).

В качестве датчика используется измерительный прибор с трансформаторным преобразователем. Передатчик выполнен по балансной схеме, т. е. с обратной связью по частоте, и имеет астатическую характеристику. Принцип действия передатчика поясняет схема рис. 21.

Передатчик содержит *RC*-генератор *Г*, узел обратной связи *ОС* — электронный конденсаторный частотомер с линейной характеристикой, выпрямитель *В*, выявитель небаланса *ВН* в виде дифференциальной схемы переменного тока с дросселями насыще-

ния $ДН$ в двух плечах. Генератор $Г$ настраивается при помощи конденсатора переменной емкости C с приводом от двухфазного двигателя $Д_в$. Кроме того, в схеме имеется блок питания $БП$ — выпрямитель, питающий узел обратной связи, генератор и усилитель.

Принцип действия передатчика следующий: в зависимости от угла отклонения первичного измерительного прибора $ПИ$ изменяется величина напряжения U_2, которое выпрямляется выпрямителем B; выпрямленный ток I_1 подмагничивает сердечник дросселя насыщения $ДН_1$. Синусоидальное напряжение генератора $Г$ подводится не только на зажимы канала связи, но и ко входу узла обратной связи. Ток I_2 на выходе последнего линейно зависит от частоты сигнала. Этот ток подмагничивает сердечник дросселя насыщения $ДН_2$. При равенстве токов I_1 и I_2 выявитель небаланса $ВН$, питаемый от сети через трансформатор $Тр$, уравновешен, и напряжение на его выходе $U_{нб}$ равно нулю. Изменение измеряемой величины, а следовательно, и тока I_1 нарушает баланс. Напряжение $U_{нб}$ усиливается, и двигатель $Д_в$ начинает вращаться. При этом настройка генератора $Г$ изменяется до тех пор, пока изменение тока I_2 не уравновесит выявитель небаланса. Аналогично восстанавливается равновесие и при самопроизвольном изменении тока I_2 вследствие расстройки генератора по какой-либо причине (например, изменение напряжения питания).

Ток I_1 линейно связан с углом отклонения $\alpha_и$ первичного прибора $ПИ$ и напряжением сети $U_с$, питающим трансформаторный преобразователь $ТП$

$$I_1 = k_1 \alpha_и U_с.$$

Зависимость тока выхода узла обратной связи I_2 от частоты сигнала следующая:

$$I_2 = k_2 (f_0 - f) U_с,$$

где $f_0 = 44$ *гц* — частота при $\alpha_и = 0$.

Таким образом, выявитель небаланса уравновешен при условии:

$$I_1 = I_2; \; k_1 \alpha_и U_с = k_2 (f_0 - f) U_с$$

или

$$f = f_0 - \frac{k_1}{k_2} \alpha_и.$$

Влияние изменения питающего напряжения в известных пределах исключается, так как в одинаковой степени изменяются токи I_1 и I_2.

Генератор выполнен по двухламповой схеме с последовательно-параллельной фазирующей схемой. Емкость конденсатора настройки регулируется в пределах 500 *пф*.

Схема электронного конденсаторного частотомера узла обратной связи приведена на рис. 22. Выход частотомера (обмотка управления $ДН_2$) для подавления начального тока включен по мостовой схеме.

Передатчик содержит шесть ламп (не считая ламп в блоке питания).

Основным узлом приемника также служит электронный конденсаторный частотомер *ЭЧ* по схеме рис. 22, который снабжен для повышения выходной мощности усилителем тока выхода, стабилизирован-

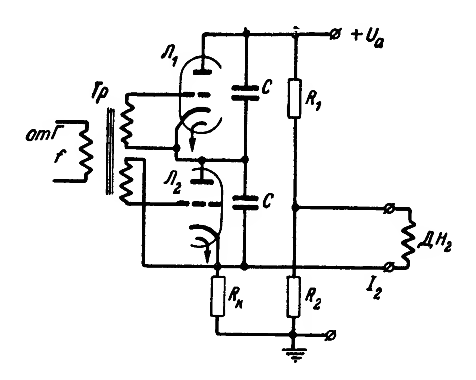


Рис. 22. Принципиальная схема электронного конденсаторного частотомера узла обратной связи.

ным отрицательной обратной связью. Блок-схема приемника представлена на рис. 23. Основные узлы приемника такие же, как в пе-

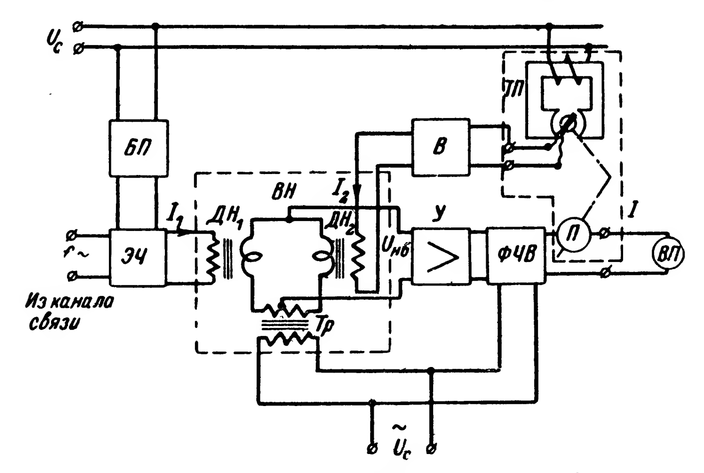


Рис. 23. Приемник телеизмерения системы ТНЧ-56.

ЭЧ — электронный частотомер; *ВН* — выявитель небаланса; *В* — выпрямитель; *У* — усилитель; *ФЧВ* — фазочувствительный выпрямитель; *ТП* — трансформаторный преобразователь; *БП* — блок питания; *П* — прибор обратной связи; *ВП* — выходной прибор.

редатчике. Ток выхода I_1 частотомерной схемы *ЭЧ* подмагничивает сердечник дросселя насыщения $ДН_1$ выявителя небаланса *ВН*. Сигнал обратной связи по току выхода вводится с помощью трансфор-

маторного преобразователя *ТП*, механически связанного с магнитоэлектрическим прибором *П*, включенным последовательно с выходным прибором *ВП*. Выпрямленный ток выхода преобразователя подмагничивает сердечник дросселя насыщения $ДН_2$. Напряжение небаланса $U_{нб}$ усиливается электронным усилителем, который подключен к фазочувствительному выпрямительному устройству *ФЧВ*.

Ток I_1 связан линейной зависимостью с частотой принимаемого сигнала f и пропорционален питающему напряжению $U_с$ (частотомерная схема питается через блок питания *БП*):

$$I_1 = k_1 (f_0 - f) U_с.$$

Ток I_2 приблизительно пропорционален току выхода I и напряжению $U_с$, питающему трансформаторный преобразователь:

$$I_2 \approx k_2 I U_с.$$

Система имеет статическую характеристику, т. е. ток I_2 всегда несколько меньше I_1. Однако при малом статизме справедливо приближенное равенство:

$$I_1 \approx I_2; \; k_1 (f_0 - f) U_с \approx k_2 I U_с;$$

$$I \approx \frac{k_1}{k_2} (f_0 - f).$$

Таким образом, обеспечиваются линейная зависимость тока выхода от частоты f и отсутствие влияния изменения питающего напряжения $U_с$.

Номинальный ток выхода равен 5 *ма* при сопротивлении нагрузки до 3 *ком*.

Недостатком описываемого приемника является его сравнительная сложность и в особенности использование прибора с трансформаторным преобразователем. Приемник (без блока питания) содержит шесть ламп.

Стремление упростить аппаратуру телеизмерения и заменить электронные лампы полупроводниковыми приборами с более длительным сроком службы привело к созданию новой модификации описанной частотной системы телеизмерения (ТНЧ-2). В настоящее время завод «Электропульт» освоил производство системы ТНЧ-2 и прекратил выпуск аппаратуры ТНЧ-56.

По основным характеристикам система ТНЧ-2 сходна с ТНЧ-56 (диапазон частот 44—27 *гц*, линейная зависимость частоты от измеряемого параметра, использование для ввода измеряемого параметра прибора с трансформаторным преобразователем). Наряду с этим имеются и существенные отличия. В частности, передатчик ТНЧ-2 имеет статическую характеристику, что позволило отказаться от громоздкого узла настройки генератора с конденсатором переменной емкости и реверсивным двигателем. Предельно упрощен и приемник.

Блок-схема передатчика представлена на рис. 24,*а*. Генератор *Г* выполнен на двух полупроводниковых триодах по схеме *LC* с фазосдвигающей цепью. Изменение частоты получается при изменении

тока управления $I_у$ дросселя насыщения *ДН*. Принципиальная схема генератора с такой схемой управления показана на рис. 24,*б*. Фазосдвигающая цепочка составлена из конденсаторов *С*, обмот-

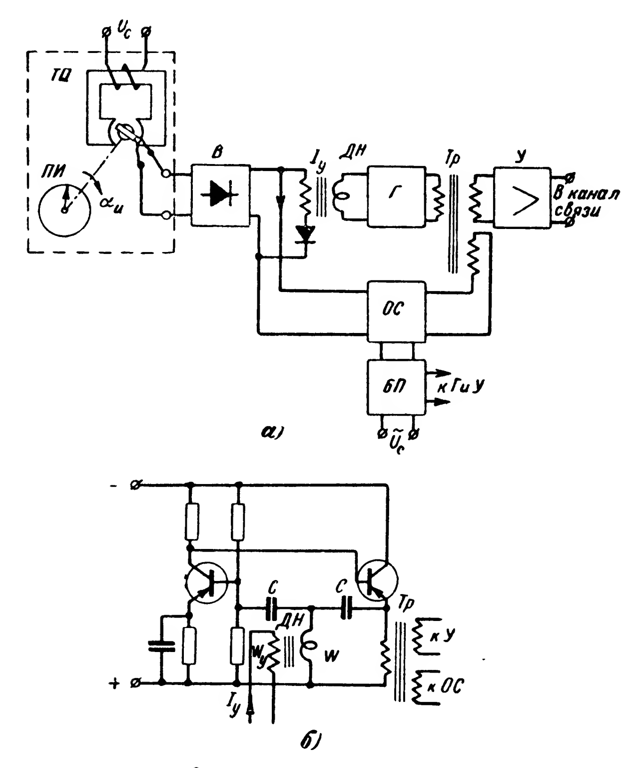


Рис. 24. Передатчик системы ТНЧ-2.

а — блок-схема; *б* — принципиальная схема управления частотой; *ПИ* — первичный измерительный прибор; *ТП* — трансформаторный преобразователь; *В* — выпрямитель; *ДН* — дроссель насыщения; *Г* — генератор; *ОС* — узел обратной связи; *У* — усилитель; *БП* — блок питания.

ки *w* дросселя насыщения *ДН* и первичной обмотки трансформатора *Тр*. Частота генерируемых колебаний определяется по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2) C}},$$

где L_1 — индуктивность дросселя насыщения;

L_2 — индуктивность первичной обмотки трансформатора.

Зависимость $f = \varphi(I_у)$ близка к линейной в диапазоне 27—44 *гц*, но в верхней части частотного диапазона (40—44 *гц*) крутизна ее уменьшается.

Узел обратной связи выполнен по двухтактной конденсаторной схеме на полупроводниковых триодах, сходной с частотомерной схемой на электронных лампах, используемой в аппаратуре ТНЧ-56. Зависимость тока выхода от частоты близка к линейной (нелинейность не более ±0,7%).

Узел обратной связи питается через выпрямитель *БП* от нестабилизированной сети переменного тока.

Усилитель *У* двухкаскадный, собран на полупроводниковых триодах, выходное напряжение усилителя до 8 *в* на сопротивлении нагрузки 2 *ком*.

Схема приемника представлена на рис. 25. В приемнике применен трансформаторный частотомерный узел. Как известно, при на-

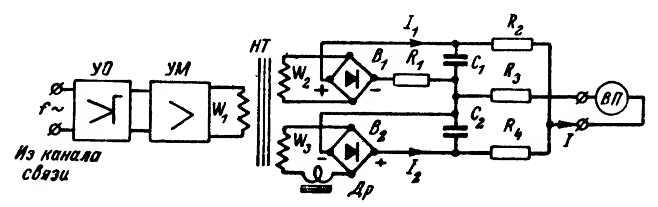


Рис. 25. Принципиальная схема приемника системы ТНЧ-2.
УО — усилитель-ограничитель; *УМ* — усилитель мощности; *НТ* — насыщенный трансформатор; B_1, B_2 — выпрямители; *Др* — дроссель; *ВП* — выходной прибор.

магничивании сердечника трансформатора, питаемого переменным током, до индукции B_m, среднее значение э. д. с., индуктируемой за полупериод в обмотке с числом витков w_2:

$$E_{2\,\text{ср}} = 4w_2SB_mf,$$

где S — сечение сердечника.

При насыщенном сердечнике $E_{2\,\text{ср}}$ мало изменяется при значительных изменениях намагничивающего тока.

При нагрузке активным сопротивлением и двухполупериодном выпрямлении среднее значение выпрямленного тока

$$I_{1\,\text{ср}} = \frac{4k_\text{в}w_2SB_m}{R}f,$$

где $k_\text{в}$ — коэффициент выпрямления;

R — сопротивление цепи.

Таким образом, ток $I_{1\,\text{ср}}$ пропорционален частоте сигнала. Для компенсации нулевого тока I_0, соответствующего начальной частоте диапазона, в цепь обмотки w_3 трансформатора *ТН* до выпрямителя включен дроссель насыщения. При этом

$$I_{2\,\text{ср}} = \frac{4k_\text{в}w_3SB_m}{z}f \approx$$

$$\approx \frac{4k_\text{в}w_3SB_m}{2\pi fL}f = \frac{2}{\pi L}k_\text{в}w_3SB_m,$$

т. е. $I_{2\,\text{ср}}$ не зависит от частоты.

В цепи выходного прибора токи $I_{1\ ср}$ и $I_{2\ ср}$ вычитаются. Подбирая соответствующим образом числа витков w_2 и w_3, получаем зависимость:

$$I_{ср} = I_{2\ ср} - I_{1\ ср} = k_1 (f_0 - f).$$

Сердечник трансформатора изготовляется из ленточного пермаллоя с прямоугольной петлей гистерезиса, а сердечник дросселя — из молибденового пермаллоя.

Приемник устойчиво работает при напряжении сигнала от 0,5 *в* и выше. Входное сопротивление более 3 000 *ом*. Максимальный

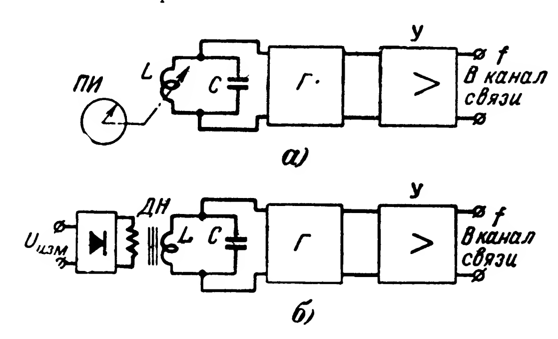


Рис. 26. Блок-схемы передающих устройств телеизмерительной системы Броун-Бовери.
а — с вариометром; *б* — с дросселем насыщения.

ток в цепи выходного прибора 1 *ма* при сопротивлении нагрузки до 600 *ом*. Для увеличения мощности выхода (например, при подключении регистрирующего прибора) применяется усилитель постоянного тока с номинальным током выхода до 5 *ма* при сопротивлении нагрузки до 1 500 *ом*.

Телеизмерительная аппаратура Броун-Бовери [Л. 20 и 21]. Швейцарская электротехническая фирма Броун-Бовери разработала и в 1947—1948 гг. выпустила телеизмерительную аппаратуру частотной системы. В последующие годы аппаратура усовершенствовалась; в частности, был выполнен многоканальный вариант системы с временным разделением сигналов.

В телеизмерительной системе применяется прямая передача сигналов телеизмерения по высокочастотным каналам линий электропередачи или проводным линиям связи, уплотненным в верхней части тонального диапазона (выше 2 700 *гц*) и надтональном диапазоне. Коэффициент изменения частоты сигнала составляет 1,16, а абсолютная ширина полосы рабочих частот возрастает с увеличением средней частоты сигнала.

В передающем устройстве в основном варианте аппаратуры измеряемый параметр преобразуется при помощи миниатюрного вариометра (переменной индуктивности), механически связанного с подвижной частью измерительного прибора.

На рис. 26,*а* представлена блок-схема такого передающего устройства. Вариометр L включен в колебательный контур генерато

ра *Г*. Конструкция вариометра обеспечивает линейную зависимость частоты сигнала от измеряемого параметра.

В усовершенствованном варианте передающей системы при телеизмерении напряжения (или тока) вариометр заменяется дросселем насыщения с изменяющейся индуктивностью (рис. 26,*б*).

Приемник выполнен по компенсационной схеме. В первоначальном варианте схемы обратная связь по току выхода вводилась с помощью вариометра, аналогичного по конструкции используемому в передающем устройстве; вариометром управлял магнитоэлектрический прибор, включенный в цепь выходного прибора.

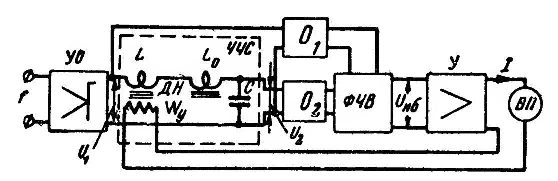


Рис. 27. Блок-схемы приемника телеизмерительной системы Броун — Бовери.

УО — усилитель-ограничитель; *ЧЧС* — частотно-чувствительная схема; O_1, O_2 — ограничители; *ФЧВ* — фазочувствительный усилитель; *У* — усилитель постоянного тока; *ВП* — выходной прибор.

В последней модификации, разработанной, в частности, для многоканальных систем (см. § 6) элементом обратной связи является дроссель насыщения. Блок-схема приемника с дросселем насыщения показана на рис. 27.

Приемник содержит входной усилитель-ограничитель *УО*, частотно-чувствительную схему *ЧЧС* — делитель напряжения, составленный из конденсатора *С* и соединенных последовательно дросселя постоянной индуктивности L_0 и дросселя насыщения переменной индуктивности *L*, ограничители O_1 и O_2, фазочувствительный выпрямитель *ФЧВ* и усилитель постоянного тока *У*.

Частотно-чувствительная схема (C, L_0, L) настраивается дросселем насыщения *ДН*, обмотка управления которого $w_у$ включена в цепь выходного прибора *ВП*.

При точной настройке *ЧЧС* на частоту сигнала ($f=f_р$, где $f_р$ частота настройки схемы), колебательный контур C, L_0, L настроен в резонанс и напряжения U_1 и U_2 сдвинуты по фазе на угол $\psi=90°$. При этом напряжение на выходе фазочувствительного выпрямителя *ФЧВ* равно нулю. При расстройке контура ($f \neq f_р$) угол ψ отличается от 90°, и на выходе *ФЧВ* появляется напряжение небаланса $U_{нб}$. Знак напряжения $U_{нб}$ соответствует знаку разности $f—f_р$. Напряжение небаланса усиливается; выходной ток I протекает по цепи выходного прибора *ВП* и по обмотке управления *ДН*. В результате изменяется индуктивность L, и колебательный контур настраивается на новую частоту $f_р$. Приемник имеет статическую характеристику и, следовательно, $f_р$ всегда несколько отличается от f. При ψ, близком 90°,

$$I = k_1 U_{нб} = k_1 k_2 (f - f_р).$$

Частота $f_р$ линейно зависит от тока I:

$$f_р = f_{р0} + k_3 I,$$

где $f_{р0}$ — резонансная частота контура при $I = 0$.

Решая последние уравнения, получаем зависимость выходного тока от частоты сигнала

$$I = k\,(f - f_{р0}),$$

где

$$k = \frac{k_1 k_2}{1 + k_1 k_2 k_3}.$$

5. КОДО-ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

Особое место среди телеизмерительных систем занимают кодо-импульсные системы, которые отличаются от остальных систем дискретными по уровню измеряемого параметра сигналами.

Как уже было пояснено, переход от непрерывного ряда значений измеряемого параметра к дискретным значениям осуществляется с помощью операции квантования.

Квантованный отсчет, т. е. число (номер уровня), может быть передан соответствующим числом импульсов. Но такая передача весьма неэкономична. В кодо-импульсных системах телеизмерения каждому дискретному уровню измеряемого параметра присваивается определенная комбинация импульсов — код. Код обычно отображает численную величину параметра (номер уровня) в какой-либо системе счисления: десятичной или двоичной. Поскольку технически проще всего реализуются системы с двумя импульсными признаками, применение десятичной системы счисления требует кодирования цифр каждого десятичного разряда единичным или двоичным кодом. Такие комбинированные коды получили название единично-десятичных и двоично-десятичных. Диаграммы, поясняющие построение различных импульсных кодов, приведены на рис. 28.

Каждое число N можно получить суммированием степеней числа 2:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i,$$

причем коэффициенты a_i могут принимать значения 0 или 1. Запись числа в двоичном коде соответствует значениям этих коэффициентов, расположенных слева направо, в порядке убывания «весов» разрядов, т. е. степеней числа 2. Так, число $N=75$ равно сумме:

$$1\cdot 2^6+0\cdot 2^5+0\cdot 2^4+1\cdot 2^3+0\cdot 2^2+1\cdot 2^1+1\cdot 2^0=64+8+2+1.$$

Отсюда запись в двоичной системе счисления 1001011. Это число можно изобразить параллельным или последовательным импульсным кодом. В первом случае на каждый разряд кода (в нашем примере семь разрядов) отводится отдельный провод или отдельный частотный канал, и кодовые импульсы передаются одновременно по всем каналам, которые соответствуют коэффициентам a_i, принимающим

значение «1». Во втором случае по одному каналу передается последовательность импульсов, в которой номер разряда определяется местом импульса. Импульсы имеют два импульсных признака, например, единице в разряде кода соответствует наличие импульса, а нулю — отсутствие импульса. Именно такой код изображен на рис. 28,*а*.

Для записи числа в двоично-десятичном коде требуется по четыре двоичных разряда на каждый десятичный разряд (так как это наименьшее число разрядов, которое позволяет записать числа от 0

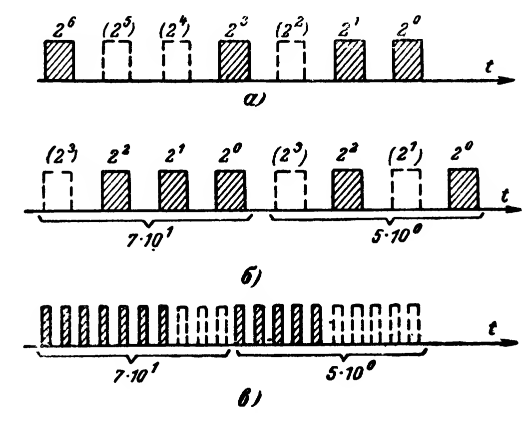


Рис. 28. Диаграммы импульсных кодов.
а — двоичный код; *б* — двоично-десятичный код; *в* — единично-десятичный код.

до 9 в двоичной системе счисления). Последовательный двоично-десятичный код числа 75 показан на рис. 28,*б*. Единично-десятичный код, показанный на рис. 28,*в*, пояснений не требует.

Кодо-импульсные телеизмерительные системы значительно сложнее большинства телеизмерительных систем с непрерывными (аналоговыми) сигналами, но обладают рядом ценных преимуществ. К числу преимуществ относятся: 1) высокая помехоустойчивость и, как следствие, бо́льшая дальность передачи (особенно при применении помехозащищенных кодов); 2) отсутствие принципиальных ограничений возможной точности телепередачи; 3) удобство и объективность цифрового воспроизведения показаний; 4) удобство сочетания с цифровыми системами обработки данных и с управляющими машинами дискретного действия [1].

До последнего времени кодо-импульсные телеизмерительные системы выполнялись преимущественно как опытные. Переход к серийному производству кодо-импульсных систем стал реально возможен лишь в последние годы в связи с развитием бесконтактных средств цифровой вычислительной техники, построенных на полупроводниковых и магнитных элементах, и с резким удешевлением полупроводниковых приборов и магнитных материалов с прямо-

[1] Подробнее см. в § 7.

угольной петлей гистерезиса, особенно ферритов. Важным фактором явилось также создание простых и надежных устройств цифрового воспроизведения показаний (типа газоразрядных ламп цифровой индикации с переключаемыми светящимися катодами, выполненными в форме цифр, многоламповых проекционных указателей).

Как правило, кодируется либо угол поворота стрелки первичного измерительного прибора (манометра, расходомера и т. п.), либо унифицированный электрический параметр — ток или напряжение, в который предварительно преобразуются все измеряемые величины. Применение кодо-импульсных систем телеизмерения, преобразующих в код угловые перемещения, оправдано в двух случаях: во-первых, когда характер расположения точек контроля не позволяет применить один общий цифровой преобразователь для многих точек; во-вторых, когда измеряемые параметры, сосредоточенные на одном контролируемом пункте, изменяются настолько медленно, что можно воспользоваться одним общим прибором с преобразователем угловых перемещений в код. На вход этого прибора поочередно подаются все измеряемые величины, съем кода производится после установления каждого показания. Когда же на одном контролируемом пункте сосредоточено несколько точек контроля и характер изменения параметров не допускает применения одного общего прибора с преобразованием в код, целесообразнее отказаться от индивидуальных преобразователей угла в код для каждого измерительного прибора. В этом случае лучше заменить их системой датчиков с унифицированными электрическими выходами, поочередно подключаемыми к одному общему быстродействующему преобразователю напряжения в код. Ниже описываются наиболее характерные телеизмерительные системы обоих типов, разработанные в последние годы.

Система SECRE (Франция) [Л. 26]. Для передачи значений большой группы измеряемых параметров из одного контролируемого пункта на диспетчерский пункт французская фирма SECRE разработала кодо-импульсную телеизмерительную систему. В системе происходит циклическое подключение 60 датчиков, поочередное преобразование выходных токов датчиков в шестиразрядный двоичный код, передача каждого кода параллельным способом (с использованием индивидуального частотного канала для каждого разряда. и прием кодов на индивидуальные цифровые или аналоговые указывающие приборы.

На кодирование и передачу кода одного параметра отводится 40 *мсек*. Датчики имеют унифицированный выходной параметр — постоянный ток, изменяющийся в пределах от —5 до +5 *ма*. Величина тока датчика отображается двоичным кодом после промежуточного преобразования тока в длительность временного интервала и заполнения этого интервала серией импульсов фиксированной частоты, которые пересчитываются триггерной схемой в двоичный код.

Время-импульсными преобразователями являются магнитные модуляторы. Модулятор питается током промышленной частоты (50 *гц*). Если сигнал в обмотке управления отсутствует, напряжение выходной обмотки совпадает по фазе с питающим. Ток управляющей обмотки смещает рабочую точку модулятора, и выходное напряжение смещается по фазе относительно питающего. Фазовый сдвиг пропорционален величине управляющего тока. Диапазон этого сдвига, выраженный в единицах времени, составляет 0—2 *мсек* для

всей шкалы изменения управляющего тока. В соответствии с этим квантование и кодирование одной величины производится за 2 *мсек*. Посылаемая в каналы связи группа кодовых импульсов занимает интервал времени $\frac{1}{50}=20$ *мсек* и отделяется от последующей кодовой посылки таким же интервалом.

На рис. 29 показана блок-схема передающего устройства. Измеряемый параметр преобразуется датчиком *Д* в электрический ток. Магнитный модулятор *М* получает питание от сети 50 *гц*. Модулятор выдает импульс, смещенный во времени относительно момента прохождения через нуль питающего напряжения. Делитель частоты *ДЧ* выдает за два периода один импульс движения на распределитель, а также импульс на вход *1* триггера *Т*. Этот импульс, вызывающий переброс триггера *Т* в состояние «1» и отпирание вентиля *В* на входе пересчетной схемы *ПС*, совпадает во времени с моментом прохождения через нуль сетевого напряжения. Возвратом триггера в нулевое состояние и, следовательно, закрытием вентиля *В* управляет выходной импульс модулятора, поступающий на вход 0 триггера. На каждом такте движения распределителя импульс на вход 0 выдается одним определенным модулятором. Таким образом, промежуток времени, в течение которого импульсы от генератора счетных импульсов *ГСИ* поступают через вентиль *В* на вход пересчетной схемы *ПС*, пропорционален измеряемому параметру.

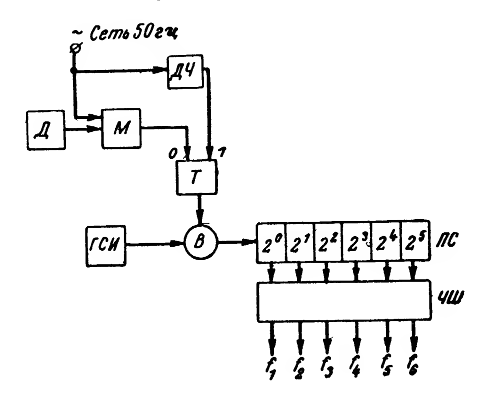


Рис. 29. Блок-схема передающего устройства кодо-импульсной телеизмерительной системы фирмы SECRE.

Д — датчик; *М* — время-импульсный модулятор; *ДЧ* — делитель частоты; *Т* — триггер; *В* — вентиль; *ПС* — пересчетная схема; *ЧШ* — частотный шифратор.

Пересчетная схема *ПС* предназначена для преобразования числа импульсов стабильного генератора *ГСИ*, пропущенных вентилем *В*, в шестиразрядный двоичный код. Каждый последующий триггер пересчетной схемы перебрасывается после двух изменений

состояния предыдущего триггера. По состоянию каждого триггера можно судить о том, содержится ли соответствующая степень числа 2 в двоичной сумме, отвечающей числу сосчитанных импульсов (т. е. равно ли a_i единице или нулю). Триггеры соединены между собой так, что каждый переход предыдущего триггера из состояния «1» в состояние «0» вызывает переброс последующего триггера независимо от того, каким было его состояние.

До начала счета все триггеры находятся в состоянии «0». Первый пришедший импульс переводит первый триггер в состояние«1»,

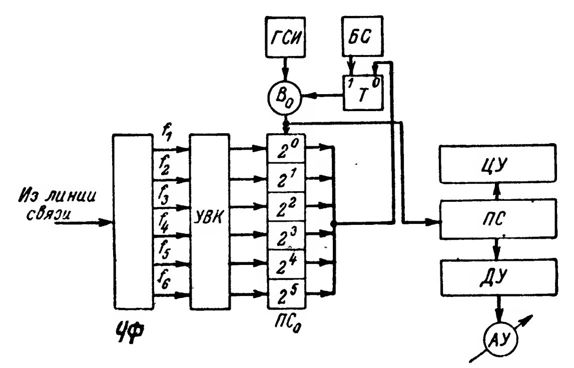


Рис. 30. Блок-схема приемника кодо-импульсной телеизмерительной системы фирмы SECRE.

ЧФ — блок частотных фильтров; *УВК* — устройство ввода кода; *ГСИ* — генератор счетных импульсов; B_0 — вентиль; $ПС_0$, *ПС* — пересчетные схемы; *БС* — блок синхронизации; *Т* — триггер; *ЦУ* — цифровой указатель; *ДУ* — декодирующее устройство; *АУ* — аналоговый указатель.

и на *ПС* образуется код 000001. Второй импульс переводит первый триггер в состояние «0», но этот переброс вызывает переход второго триггера в состояние «1»; получается код 000010. Третий импульс вновь перебрасывает первый триггер в состояние «1», и получается код 000011. Четвертый импульс переводит первый триггер в состояние «0». Этот переход вызывает переброс второго триггера. Так как прежнее состояние его было «1», то он переходит в состояние «0». Это вызывает переброс третьего триггера, на котором теперь фиксируется единица; образуется код 000100 и т. д.

Максимальное число, которое может зафиксировать шестиразрядный двоичный счетчик, равно в двоичной записи 111111, т. е. 63. Следующий входной импульс возвращает все триггеры в исходное нулевое состояние.

Получаемый на пересчетной схеме код подается на частотный шифратор *ЧШ*, который выдает в линию связи кодовую комбинацию из частот f_1, f_2, . . . f_6; единицы в коде отмечаются соответствующими частотами, нули — отсутствием их. Напряжения всех частот подаются в линию связи через смеситель.

На рис. 30 приведена блок-схема приемного устройства. Приходящий из линии связи сигнал поступает на вход группы частотных фильтров *ЧФ*, выделяющих частоты кода f_1, f_2, . . ., f_6, которые воз-

действуют через устройство ввода кода *УВК* на триггеры пересчетной схемы $ПС_0$. При этом те триггеры, на которых фиксируются единицы в разрядах кода, перебрасываются в состояние «0», а остальные — в состояние «1». В результате на триггерах пересчетной схемы образуется двоичный код числа (63—*N*), где *N* — числовое значение телеизмеряемой величины. Такой способ ввода кода принят для удобства последующего преобразования его в единичный код, т. е. в серию импульсов числом *N*. Это преобразование достигается путем подачи на вход первого триггера пересчетной схемы $ПС_0$ импульсов от генератора счетных импульсов *ГСИ* через вентиль $В_0$. Вентиль открывается триггером *Т* по команде от блока синхронизации *БС* (назначение *БС* будет пояснено в следующем параграфе) и закрывается триггером, когда приходит сигнал о переполнении счетчика $ПС_0$, т. е. о перебросе всех триггеров в состояние «1». Так как в исходном состоянии на $ПС_0$ был зафиксирован код числа (63—*N*), а конечное состояние (код 111111) соответствует числу 63, то число пропущенных вентилем $В_0$ импульсов равно *N*.

Последовательность *N* импульсов пересчитывается счетчиком воспроизведения *ПС* в код, удобный для цифрового воспроизведения. Очевидно, для этой цели пригоден уже не двоичный, а единично-десятичный код. Кроме того, при этом пересчете может быть параллельно решена задача ввода индивидуального шкального коэффициента. Это обеспечит цифровое воспроизведение не в процентной форме, а в единицах измерения данного параметра [1].

Сосчитанное число запоминается счетчиком *ПС* на все время цикла подключения датчика и воспроизводится цифровым указателем *ЦУ*. Одновременно эта величина воспроизводится аналоговым указателем *АУ*, включенным на выходе декодирующего устройства *ДУ*. Последнее преобразует код в электрический ток по схеме суммирования отдельных токов, пропорциональных «весам» разрядов кода.

Особенности выполнения схем передающего и приемного многоканальных устройств будут рассмотрены в следующем параграфе.

Система ВНИИЭ. Эта система заслуживает детального рассмотрения как характерный пример первой реализованной в Советском Союзе полностью бесконтактной кодо-импульсной телеизмерительной системы с преобразованием тока датчика в цифровой код. Описание системы дается в соответствии с материалами, опубликованными в печати в 1958 г. [Л. 24] *.

Система рассчитана на номинальный ток датчика 2 *ма*. Ток преобразуется в шестиразрядный двоичный код, что соответствует дискретности по уровню $\frac{1}{2^6-1}100\% \approx 1{,}5\%$ или $\pm 0{,}75\%$.

Разумеется, общая погрешность кодирования превышает эту величину, так как добавляются еще погрешность преобразования кода в ток в цепи обратной связи и колебания порога срабатывания нуль-органа. На приемной стороне вносится дополнительная погрешность преобразования кода в ток показывающего прибора. В целом система укладывается в класс точности 1,5.

---

[1] В описании системы не содержится указания на то, что эта операция в ней осуществляется.

* В дальнейшем система претерпела существенные изменения.

Код передается по одному частотно-уплотненному каналу связи шириной 140 *гц* методом временно́го разделения разрядов. По ширине канала и из соображений исключения помех сетевой частоты выбрана частота следования кодовых импульсов 40 *имп/сек* (период 25 *мсек*). Код формируется по принципу наличия («1») или отсутствия («0») импульса в соответствующем такте кодовой посылки (комбинации). Кодовые посылки отделяются одна от другой маркерными импульсами. Ширина кодового импульса (12,5 *мсек*) равна половине длительности тактового периода. Маркерный импульс втрое шире кодового и вместе с разделительной паузой занимает интервал времени, равный длительности двух тактовых периодов, т. е. 50 *мсек*. Общее время передачи одного кода составляет восемь периодов, т. е. 0,2 *сек*. Система работает циклически, что обеспечивает повышение помехоустойчивости за счет многократных повторений передачи в течение времени успокоения приемного прибора. Для аналогового воспроизведения измеряемой величины на приемной стороне предусмотрено преобразование приходящего последовательного кода в параллельный, запоминание значений разрядов кода и преобразование его в постоянный ток, измеряемый стрелочным миллиамперметром. Шкала прибора градуируется в единицах измерения параметра.

Цифровой преобразователь передатчика работает по принципу «взвешивания», сущность которого состоит в том, что входной ток уравновешивается набираемой ступенями суммой эталонных токов, пропорциональных «весам» разрядов двоичного кода. Уравновешивающие токи набираются поочередно, в порядке убывания их величин. Если добавление очередной ступени вызывает превышение суммы над входным током, эта ступень исключается из суммы. Параллельно с процессом набора уравновешивающих токов в канал связи выдается импульсный код: в случае сохранения очередной ступени в составе набираемой суммы посылается импульс («1»), в случае исключения ступени из суммы на соответствующем такте посылка импульса не производится («0»).

На рис. 31 показана блок-схема передатчика. Мультивибратор МВ, выполненный на полупроводниковых триодах, выдает прямоугольные двухполярные импульсы частотой 40 *гц* (период 25 *мсек*), которыми через согласующие эмиттерные повторители *ЭП-1* и *ЭП-2* осуществляется управление двухтактным распределителем *Р*. Последний имеет кольцевые сердечники из пермаллоя с прямоугольной петлей гистерезиса. При отсутствии намагничивающих токов сердечник может находиться в одном из двух устойчивых состояний, характеризуемых значениями остаточной индукции: $+B_r$ и $-B_r$. Первому из них приписывается значение «1», второму — «0». Обмотки соседних сердечников связаны таким образом, что перемагничивание одного из них из состояния «1» в состояние «0» вызывает перемагничивание соседнего правого сердечника из состояния «0» в состояние «1». Во время перемагничивания из состояния «1» в состояние «0» выдается импульс в соответствующую выходную цепь. Положительные импульсы (одного полупериода колебаний) мультивибратора подаются в обмотки управления нечетных сердечников (*I*, *II*, *III* и т. д.), отрицательные импульсы (другого полупериода) — в обмотки управления четных сердечников (*I′*, *II′*, *III′* и т. д.). Каждый такой импульс действует в направлении перемагничивания всех сердечников в состояние «0». В каждый момент только один

сердечник распределителя находится в состоянии «1». Перемагничиваясь, он выдает импульс на свою выходную шину и возбуждает (переводит в состояние «1») соседний сердечник, на который в этот момент не действует управляющий ток. В следующий полупериод импульс выдает возбужденный перед этим сердечник, а возбуждается сердечник, находящийся правее его. Таким образом, импульсы на шинах распределителя появляются с временным сдвигом 12,5 *мсек.*

Определение каждого разряда кода происходит в два этапа: сначала к эталонной сумме добавляется очередная ступень, затем

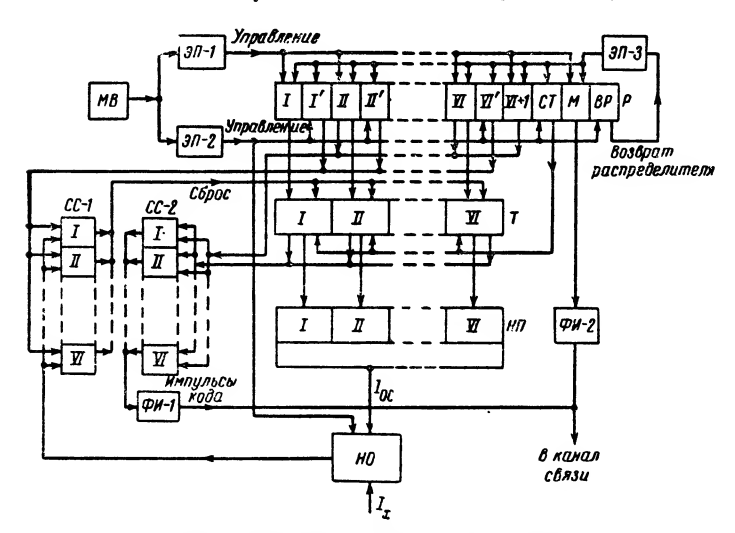


Рис. 31. Блок-схема передатчика кодо-импульсной телеизмерительной системы ВНИИЭ.

МВ — мультивибратор; *ЭП* — эмиттерный повторитель; *Р* — распределитель; *СС* — схема совпадения; *Т* — триггер; *НП* — схема набора проводимостей; *НО* — нуль-орган; *ФИ* — формирователь импульсов.

после оценки знака разности эта ступень в случае необходимости отключается. В соответствии с этим правилом нечетные ячейки распределителя (*I*, *II*, *III* и т. д.) выдают команды включения триггеров *Т*, управляющих ключами схемы набора проводимостей *НП*, а четные ячейки распределителя (*I′*, *II′*, *III′* и т. д.) выдают команды отключения триггеров *Т*. Команда выключения выполняется лишь в том случае, если одновременно с ней приходит импульс от нуль-органа *НО*, свидетельствующий о перекомпенсации входного тока суммой эталонных токов, выдаваемой схемой набора проводимостей *НП*. Поэтому команда сброса каждого триггера подается через соответствующую схему совпадения из группы *СС-1*.

Триггеры *Т* выполнены на полупроводниковых триодах, ключевая схема набора проводимостей *НП* — на пальчиковых лампах, схе-

мы совпадения — на полупроводниковых диодах и сопротивлениях Нуль-орган, выполняющий функцию сравнения входного тока I_x с набираемым эталонным током обратной связи $I_{о. с}$, построен на пермаллоевом сердечнике с прямоугольной петлей гистерезиса. Действие его основано на том, что в зависимости от знака разности намагничивающих сил, создаваемых токами I_x и $I_{о. с}$, он при подаче в управляющую обмотку опрашивающего импульса от *ЭП-2* (на каждом четном такте работы схемы) либо выдает импульс на группу схем *СС-1*, либо не выдает импульса. Первый случай соответствует перекомпенсации ($I_{о. с} > I_x$), второй — недокомпенсации ($I_{о. с} \leqslant I_x$).

При недокомпенсации одновременно с подключением следующей ступени проводимости через одну из схем совпадения *СС-2* подается сигнал на формирователь импульсов *ФИ-1*, который посылает кодовый импульс в канал связи. Таким образом, кодовые импульсы посылаются с отставанием на два полупериода от процесса уравновешивания. В соответствии с этим распределитель содержит две дополнительные ячейки: *VI+1* и *СТ*. Ячейка *VI+1* управляет посылкой последнего, шестого, кодового импульса, а ячейка *СТ* вводит разделительную паузу между последним кодовым и маркерным импульсами. Последний выдается в канал связи по команде от ячейки *М* распределителя формирователем *ФИ-2*. Этот импульс имеет увеличенную длительность.

Цикл работы распределителя завершается тем, что с последней его ячейки *ВР* через эмиттерный повторитель *ЭП-3* подается сигнал, принудительно переводящий сердечник *1* в состояние «1», а все остальные сердечники — в состояние «0». Этим исключается возможность одновременного продвижения по распределителю нескольких ложных единиц, появившихся под действием случайных помех.

Приемное устройство построено по блок-схеме, приведенной на рис. 32. Импульсы из канала связи поступают на усилитель-ограничитель *УО*, выходной сигнал которого подается на усилители $У_1$, $У_2$ и на селектор времени *СВ*, выделяющий удлиненный синхронизирующий (маркерный) импульс. Передние фронты импульсов, выдаваемых усилителем $У_2$, используются для синхронизации мультивибратора *МВ*, управляющего через эмиттерный повторитель *ЭП-3* распределителем *Р*. Импульсы с выхода усилителя $У_1$ через повторитель *ЭП-2* приходят на одну из обмоток запоминающего магнитного элемента *К* и каждый раз подготавливают его. Опрашивание элемента *К* осуществляется управляющим мультивибратором одновременно с переключением распределителя со сдвигом относительно импульсов кода на половину периода. В случае одновременного прихода импульсов от одной из ячеек распределителя и от элемента *К* на два входа соответствующей схемы совпадения из группы *СС* выдается импульс переключения триггера *Т*, запоминающего данный разряд кода, в состояние «1». Триггеры управляют включением ветвей схемы набора проводимостей *НП*, к выходу которой подключен выходной стрелочный прибор *ВП*. В случае отсутствия кодового импульса на каком-либо такте переключений распределителя триггер получает импульс переключения в состояние «0». Таким образом, код воспринимается указателем не в конце всей посылки, а по мере поступления кодовых импульсов. Такой способ ввода кода, недопустимый в случае сравнительно частых измене-

ний значений отдельных разрядов, приемлем при сравнительно медленных изменениях измеряемого параметра, когда подавляющее большинство кодовых посылок не сопровождается изменением разрядов кода и, следовательно, бросками тока в цепи указывающего прибора.

Селектор времени *СВ*, обнаруживая синхронизирующий импульс, подает через эмиттерный повторитель *ЭП-1* команду возврата распределителя *Р* в исходное положение. Для этого вводится «1» в ячейку *В* и «0» — во все остальные ячейки. Таким образом происходит принудительная синхронизация движения распределителя приемника.

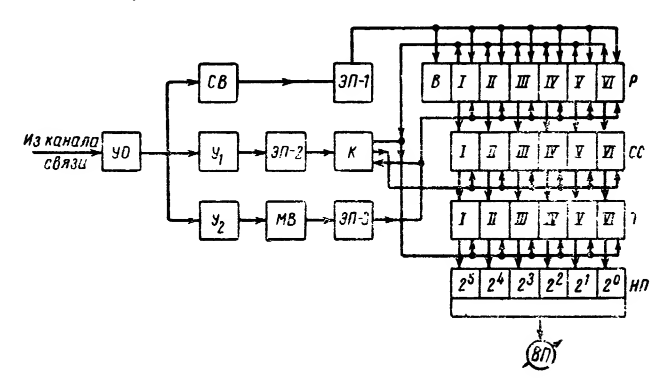


Рис. 32. Блок-схема приемника кодо-импульсной телеизмерительной системы ВНИИЭ.

УО — усилитель-ограничитель; *У* — усилитель; *ЭП* — эмиттерный повторитель; *СВ* — селектор времени; *К* — запоминающий элемент; *МВ* — мультивибратор; *Р* — распределитель; *СС* — схема совпадения; *Т* — триггер; *НП* — схема набора проводимостей; *ВП* — выходной прибор.

Схемное исполнение большей части узлов приемника не отличается от исполнения узлов передатчика с аналогичными названиями. Иначе выполнен только распределитель, который также построен на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса, но не по двухтактной, а по однотактной схеме. В схеме отсутствует разделение сердечников на группы четных и нечетных, переводимых в состояние «0» со сдвигом на половину периода.

Не имеет аналогов среди узлов передатчика селектор времени *СВ*, принцип действия которого основан на преобразовании длительности импульса в пропорциональный уровень напряжения на накопительном конденсаторе и в срабатывании дискриминатора уровня по достижении пороговой величины напряжения на конденсаторе. Схема построена на полупроводниковых триодах.

Система ЦНИИКА [Л. 34]. В этой системе, разработанной в 1959 г., входной величиной является напряжение датчика, приводимое к номиналу 250 *мв* (при выходном сопротивлении около 0,5 *ком*). Число уровней квантования равно 100, что соответствует погрешности отсчета уровней $\pm 0,5\%$. Так как узлы цифрового преобразователя (декодирующее устройство, нуль-орган) обладают не-

идеальными характеристиками, общая погрешность кодирования достигает $\pm 1\%$. Для упрощения последующего десятичного цифрового воспроизведения выбран двоично-десятичный код. В канал связи (стандартный частотно-уплотненный канал шириной 140 *гц*) посылается последовательность импульсов, занимающая 10 тактов (периодов) частоты 40 *гц*: восемь тактов отводится на передачу двухдекадного кода, два — на передачу маркерного (синхронизирующего) импульса. Единице в разряде кода соответствует наличие импульса, нулю — отсутствие импульса.

На приемной стороне последовательный код преобразуется в параллельный и по окончании кодовой посылки вводится в блок памяти цифрового указателя. Указатель содержит две неоновые лампы, каждая из которых имеет 10 переключаемых катодов, выполненных в форме цифр от 0 до 9. Тот катод, которому сообщается отрицательный потенциал относительно анода, светится ярким красным светом. Между блоком памяти, хранящим двоично-десятичный код, и ламповым цифровым указателем находится дешифратор, преобразующий двоично-десятичный код в единично-десятичный. Таким образом, цифровой указатель воспроизводит измеряемый параметр в относительной (процентной) форме — в виде цифр от 00 до 99. Полезно отметить, что при цифровом воспроизведении приемное устройство не вносит дополнительной погрешности.

Рассмотрим блок-схему передающего устройства (рис. 33). Преобразование входного напряжения в код осуществляется счетно-импульсным методом с обратной связью по коду.

На двоично-десятичную пересчетную схему *ПС* поступают через схему разрешения счета *СРС* импульсы частотой 2,5 *кгц* с выхода нуль-органа *НО*. Пересчетная схема преобразует число сосчитанных импульсов в комбинацию состояний триггеров (т. е. в комбинацию выходных потенциалов, принимающих условные значения «1» и «0»), которые соответствуют двоично-десятичному коду этого числа. Код преобразуется декодирующим устройством *ДУ* в напряжение обратной связи $U_{о.с}=NU_{ст}-E_{см}$, где N — число сосчитанных импульсов, $U_{ст}$ — величина ступени дискретности (шаг квантования), равная 2,5 *мв*; $E_{см}$ — постоянное напряжение смещения, равное 3—4 *мв*. Нуль-орган непрерывно сравнивает входное напряжение U_x с напряжением обратной связи. Пока разность $U_x-U_{о.с}$ превышает напряжение смещения, нуль-орган выдает на пересчетную схему импульсы Как только разность становится меньше $E_{см}$, нуль-орган прекращает выдачу импульсов. При этом на пересчетной схеме фиксируется код числа N, с точностью $\pm 1\%$ равного $U_x/U_{ст}$. Процесс кодирования происходит в течение времени передачи синхронизирующего импульса. В течение остальной части цикла код хранится в пересчетной схеме *ПС*. Этому способствует узел *СРС*, запрещающий подачу импульсов на вход *ПС* в промежутках между синхронизирующими импульсами, выдаваемыми формирователем $Ф_1$.

Преобразование кода в последовательность импульсов производится при помощи распределителя *Р*, управляемого генератором шаговых импульсов *ГШИ* частотой 40 *гц* через формирователь *ФШИ*, и схем совпадения *СС*, через которые опрашивается состояние триггеров пересчетной схемы. При совпадении высокого потенциала триггера с импульсом соответствующей ячейки распределителя на формирователь кодовых импульсов $Ф_2$ поступает импульс. Кодовые и синхронизирующий импульсы поступают через диодный

смеситель *ДС* и усилитель *У* в канал связи (на вход устройства частотного уплотнения).

Пересчетная схема, выполненная на полупроводниковых триодах, отличается по своей структуре от описанной выше двоичной

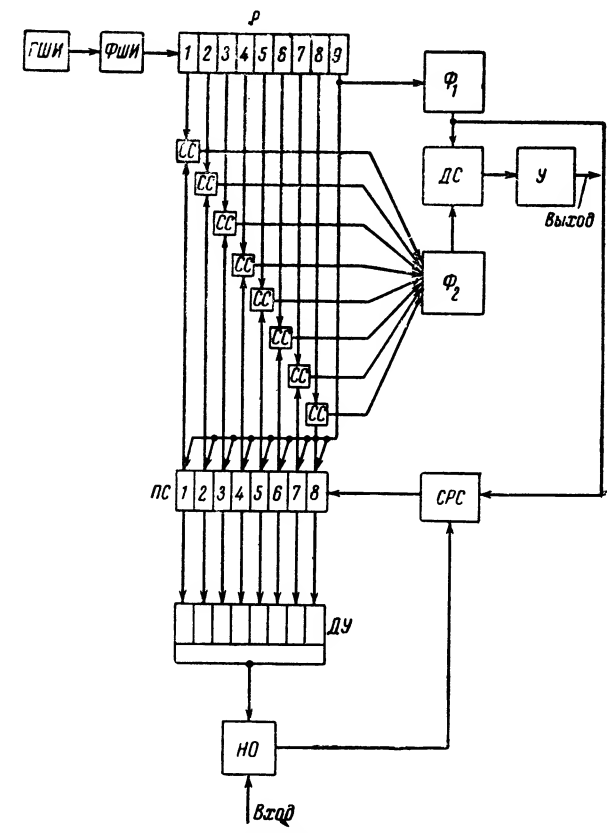


Рис. 33. Блок-схема передающего устройства кодо-импульсной телеизмерительной системы ЦНИИКА.

ГШИ — генератор шаговых импульсов; *ФШИ* — формирователь шаговых импульсов; *Р* — распределитель; *СС* — схема совпадения; *ПС* — пересчетная схема; *ДУ* — декодирующее устройство; *НО* — нуль-орган; *СРС* — схема разрешения счета; *Ф* — формирователь импульсов; *ДС* — диодный смеситель; *У* — усилитель.

пересчетной схемы некоторыми цепями связи между отдельными триггерами. Четыре триггера, относящиеся к одному десятичному разряду, возвращаются в состояние «0» не после фиксации кода 1111 (т. е. числа 15), как в обычном двоичном счетчике, а после получения кода 1001 (числа 9). Переводя в состояние «0» все триггеры

первой декады, 10-й по счету импульс вызывает также подачу одного импульса на первый триггер второй декады.

Декодирующее устройство представляет собой схему суммирования падений напряжений, создаваемых равными токами отдельных коммутируемых ветвей на цепочке сопротивлений, подобранных по закону образования двоично-десятичного кода. Ветви коммутируются полупроводниковыми триодами, базы которых связаны с выходами триггеров пересчетной схемы. Отсутствие зависимости тока каждой ветви от величины падения напряжения на выходной цепочке сопротивлений обеспечивается включением достаточно большого балластного сопротивления. Декодирующее устройство питается стабилизированным напряжением.

Нуль-орган, выдающий импульсы с частотой 2,5 *кгц*, когда входной сигнал превышает некоторый порог, и прекращающий выдачу импульсов, когда входной сигнал становится ниже порогового уровня, состоит из генератора синусоидальных колебаний частотой 2,5 *кгц*, модулятора, импульсного усилителя и выходного амплитудного дискриминатора. Модулятор, управляемый генератором, преобразует входное напряжение постоянного тока в прямоугольные импульсы, амплитуда которых пропорциональна входному напряжению. Импульсы усиливаются и затем подаются на амплитудный дискриминатор. Последний прекращает выдачу импульсов, когда входной сигнал становится меньше порогового уровня. Так как величина порога весьма мала (соизмерима со ступенью дискретности), нет необходимости точно поддерживать величины коэффициента усиления усилителя и порога срабатывания амплитудного дискриминатора. Вся схема выполнена на полупроводниковых триодах.

Распределитель выполнен на феррит-транзисторных ячейках, соединенных по однотактной схеме. Каждая ячейка представляет собой комбинацию магнитного элемента с прямоугольной петлей гистерезиса — ферритового кольца диаметром 10 *мм* — с полупроводниковым триодом. Триод выполняет функции вентильного элемента, определяющего полярность импульсов в обмотке кольца, т. е. направление перемагничивания, а также усилителя, повышающего мощность выходных импульсов и форсирующего перемагничивание ферритового кольца за счет положительной обратной связи. Распределитель снабжен пусковым узлом (на схеме не показан), возобновляющим продвижение единицы по ячейкам после окончания каждого цикла и исключающим возможность одновременного продвижения нескольких единиц. Тактовая частота движения распределителя задается стабильным *LC*-генератором. Схемы совпадения — диодные. Формирователи кодовых и синхронизирующего импульсов представляют собой одновибраторы на транзисторах. В усилителе кодового сигнала предусмотрена возможность получения импульсов чередующейся полярности.

Приемное устройство, блок-схема которого показана на рис. 34, работает следующим образом.

Входной амплитудный дискриминатор *АД* (полупроводниковый триггер Шмидта) по приходящим из канала связи сигналам формирует кодовые и синхронизирующие импульсы. Передние фронты этих импульсов, выделяемые схемой синхронизации *СС*, используются для принудительного синфазирования генератора шаговых импульсов *ГШИ* — транзисторного мультивибратора с собственной частотой, несколько меньшей 40 *гц*. Одновременно входные импульсы

поступают на группу схем совпадения *С* и на различитель синхронизирующего импульса *РСИ*. Последний выделяет импульс увеличенной длительности, предварительно преобразуя длительность импульса в пропорциональное ему напряжение накопительного конденсатора. Дискриминатором уровня напряжения на этом конден-

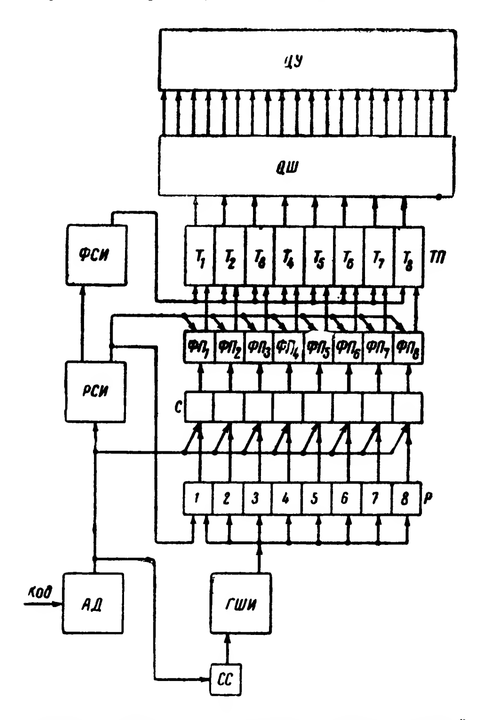


Рис. 34. Блок-схема приемника кодо-импульсной телеизмерительной системы ЦНИИКА.

АД — амплитудный дискриминатор; *РСИ* — различитель синхронизирующих импульсов; *ФСИ* — формирователь сбрасывающих импульсов; *СС* — схема синхронизации; *ГШИ* — генератор шаговых импульсов; *Р* — распределитель; *С* — схемы совпадения; *ФП* — ферритовые ячейки памяти; *ТП* — триггерная память; *ДШ* — дешифратор; *ЦУ* — цифровой указатель.

саторе служит триггер Шмидта. При обнаружении синхронизирующего импульса подается команда на очередной запуск однотактного феррит-транзисторного распределителя нециклического действия *Р*. Распределитель, управляемый импульсами *ГШИ*, последовательно выдает импульсы на схемы совпадения *С*. При каждом совпадении кодового импульса с импульсом от распределителя производится запись «1» в соответствующей ферритовой ячейке памяти *ФП*. В конце цикла выходным импульсом различителя синхронизирующего им-

пульса *РСИ* производится считывание кода, зафиксированного ячейками ферритовой памяти. При этом код переносится на триггерную память *ТП*. За 1—2 *мсек* до ввода нового кода прежний код стирается сигналом от формирователя сбрасывающих импульсов *ФСИ*. В коллекторные цепи триггеров памяти включены обмотки восьми реле дешифратора *ДШ*, преобразующего двоично-десятичный код в единично-десятичный и управляющего зажиганием катодов ламп цифрового указателя *ЦУ*. Благодаря кратковременности промежутка между сбросом кода с триггеров памяти и вводом нового

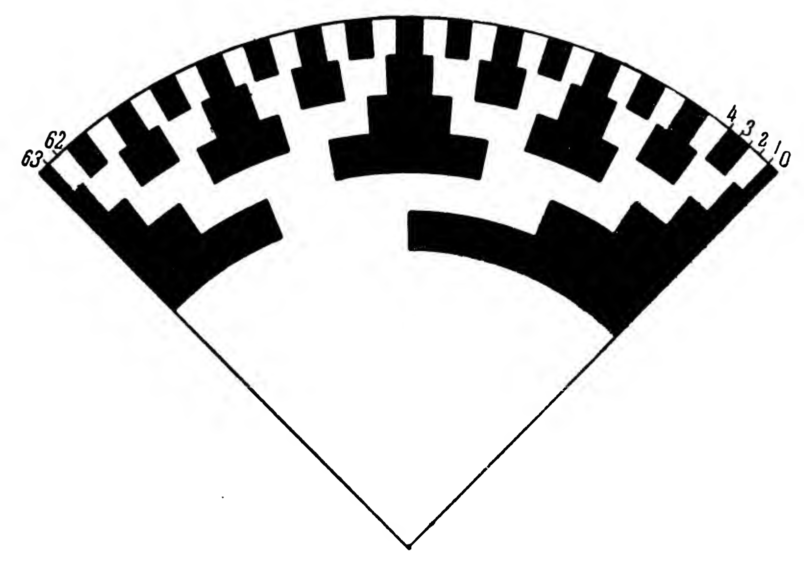


Рис. 35. Кодовый сектор на шесть разрядов.

кода не происходит отпускания тех реле, для которых разряд кода сохраняет прежнее значение «1». Этим исключаются излишние срабатывания реле и мигание цифр на указателе. При медленном изменении измеряемого параметра реле работают в режиме редких переключений.

Система Института автоматики Госплана УССР [Л. 28]. Эта система разработана применительно к циклическому опросу показаний приборов, измеряющих давление и расход газа на компрессорных станциях магистрального газопровода. Наличие первичных измерительных приборов с достаточно большим моментом на оси измерительного механизма, а также характер распределения точек контроля обусловили выбор кодирования по методу «вал — цифра».

Каждый прибор снабжается индивидуальным преобразователем углового отклонения измерительного механизма в двоичный код. Преобразование выполняется при помощи кодового сектора (маски) с шестью дорожками, каждая из которых разбита на прозрачные и непрозрачные участки в соответствии со значениями разрядов кода для 64 дискретных элементарных угловых секторов (рис. 35). Кодо-

вый сектор жестко связан с подвижным механизмом прибора. Съем кода осуществляется при помощи шести неподвижных фотодиодов и просвечивающего источника. Прозрачным участкам маски соответствуют единицы в разрядах кода, непрозрачным — нули.

В устройствах применен не обычный двоичный код, а так называемый рефлексный двоичный код Грея. Хотя этот код требует последующего дешифрирования, он обладает одним существенным преимуществом: отсутствием больших ошибок кодирования на границах между соседними элементарными угловыми секторами. Дело в том, что при совпадении устройства съема с границей раздела двух элементарных секторов часть разрядов кода может быть снята с одного из этих секторов, а часть — с другого. Так как в обычном числовом коде изменение числа на единицу может сопровождаться изменением не одного, а сразу нескольких разрядов кода (например, числу 7 соответствует код 0111, а числу 8 код 1000), то на границах между дискретными участками могут быть сняты самые разнообразные кодовые комбинации. Рефлексный код исключает появление таких ошибок, так как он построен по правилу: коды любых двух соседних чисел различаются лишь в одном разряде. Это наглядно демонстрируют рис. 35 и таблица.

Десятичное число	Двоичный код	
	нормальный	рефлексный
1	0000	0000
2	0001	0001
3	0010	0011
4	0011	0010
5	0100	0110
6	0101	0111
7	0110	0101
8	0111	0100
9	1000	1100
10	1001	1101
11	1010	1111
12	1011	1110
13	1100	1010
14	1101	1011
15	1110	1001
	1111	1000

Перевод рефлексного двоичного кода в нормальный двоичный код производится по правилу: если сумма цифр в коде Грея, начиная от старшего разряда и кончая преобразуемым разрядом, нечетная, то данный разряд преобразуется в единицу; если эта сумма — четная, то данный разряд преобразуется в нуль.

В рассматриваемой телеизмерительной системе такое преобразование осуществляется несложным устройством, содержащим триггер, узел задержки и схему совпадения. Импульсы рефлексного кода подаются последовательно, в порядке убывания «весов» разрядов, на счетный вход триггера. Состояние триггера зависит от того, четное или нечетное число единиц просчитано им. Выходной потенциал триггера управляет схемой совпадения, на второй вход которой поступают тактовые импульсы, сдвинутые узлом задержки в сторону отставания относительно входных кодовых импульсов. На выходе схемы совпадения получается серия импульсов нормального двоичного кода.

На рис. 35 показан кодовый сектор с постоянным шагом квантования, разбитый на 64 равных элементарных сектора. Он используется для телеизмерения давления. В случае измерения расхода газа применение такого кодового сектора недопустимо, так как угловое отклонение прибора связано с измеряемым расходом квадратичной зависимостью, а код должен быть связан с величиной расхода линейной зависимостью. Линеаризация достигается в этом слу-

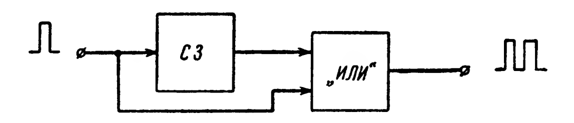


Рис. 36. Схема удвоения числа импульсов.
СЗ — схема задержки; „ИЛИ" — логический элемент.

чае применением специального кодового сектора с неравномерным шагом квантования, учитывающим квадратичный характер шкалы прибора.

Полученный в результате последовательного опроса фотодиодов и логического преобразования кода Грея нормальный двоичный код передается последовательным способом по двум выделенным частотным каналам. В одном из каналов единица передается импульсом, а нуль — паузой, в другом — наоборот. Такой способ передачи увеличивает защищенность от помех в канале связи: если вместо импульса в одном из каналов возникнет пауза или вместо паузы возникнет импульс, то будут приняты одновременно две «1» или два «0». В этом случае код не передается на указатель и производится повторный вызов данного контролируемого пункта.

Поскольку на приемной стороне применяется цифровое воспроизведение, необходимо преобразовать двоичный код в единично-десятичный. Эта задача решается комбинацией нескольких схем последовательного удвоения числа импульсов, нескольких логических схем «Или» и, наконец, декадной пересчетной схемы.

Удвоение числа импульсов выполняется при помощи схемы задержки *СЗ* (обычного одновибратора) и схемы «Или» (рис. 36), на вход которой поступает сначала первоначальный импульс, а затем — выходной импульс схемы задержки. Комбинация нескольких удвоителей с несколькими диодными схемами «Или» позволяет преобразовать каждый входной импульс в любое требуемое число выходных импульсов. Импульс каждого разряда кода подается на отдельный вход и преобразуется на выходе в такое число импульсов, которое соответствует «весу» данного разряда. Из сказанного ясно, что чем выше разряд кода, тем большее число импульсов должно выдать устройство в течение промежутка между двумя импульсами двоичного кода. Это требует уменьшения времени задержки в каждом удвоителе и увеличения разрешающей способности всех элементов схемы. Кроме того, с увеличением числа разрядов двоичного кода значительно возрастает требуемое число элементов схемы.

В описываемом устройстве достигнуто существенное упрощение схемы преобразования путем использования раздельного счета им-

пульсов по декадам. Например, если данный разряд должен быть преобразован в 32 импульса, то выдаются отдельно два импульса на первую декаду счетчика (декаду единиц) и три импульса непосредственно на вход второй декады счетчика (декады десятков). По окончании приема кодовой посылки на счетчике оказывается зафиксированным соответствующее десятичное число. Затем это число выдается на цифровой указатель и на цифровой регистратор.

Устройства съема кода с датчиков, формирования и посылки импульсов в линию, приема импульсов и преобразования двоичного кода в десятичный выполнены полностью на полупроводниковых и магнитных элементах.

6. МНОГОКАНАЛЬНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Как было указано выше (§ 1), многоканальные системы различаются по методам разделения сигналов.

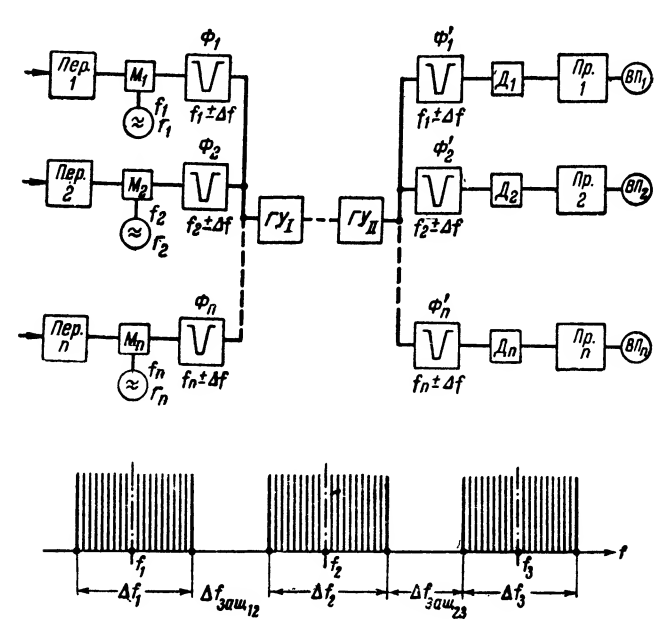


Рис. 37. Блок-схема и частотная диаграмма многоканальной телеизмерительной системы с частотным разделением.

Г — генератор несущих частот; *Ф*, *Ф'* — полосовые фильтры; *М* — модулятор; *Д* — демодулятор; *ГУ* — групповой усилитель; *Пер* — передатчик телеизмерения; *Пр* — приемник телеизмерения; *ВП* — выходной прибор.

На рис. 37 дана упрощенная схема многоканальной телеизмерительной системы с частотным разделением и частотная диаграмма.

Передатчики телеизмерения (*Пер. 1*, *Пер. 2*, . . .) управляют модуляторами ($М_1$, $М_2$, . . .), на которые подаются от генераторов ($Г_1$, $Г_2$, . .) несущие колебания с частотами f_1, f_2, . . . Фильтры передатчиков ($Ф_1$, $Ф_2$, . . .) ограничивают частотный спектр сигналов. При амплитудной и узкополосной частотной модуляции полоса пропускания фильтров Δf (рис. 37) выбирается несколько большей удвоенной максимальной частоты сигнала телеизмерения $F_{макс}$. Сигнал усиливается на передающем ($ГУ_I$) и приемном ($ГУ_{II}$) концах линии связи. Выделенные фильтрами ($Ф'_1$, $Ф'_2$, . . .) сигналы отдельных каналов демодулируются ($Д_1$, $Д_2$, . . .) и поступают на выходы приемников (*Пр. 1*, *Пр. 2*, . . .).

Как видно из схемы рис. 37, основные элементы телеизмерительной системы здесь не отличаются от используемых в одноканальных системах, но вводятся дополнительные устройства (генераторы, модуляторы, фильтры, демодуляторы), образующие каналы связи.

На рис. 38,*а* показана одна из возможных блок-схем многоканальной телеизмерительной системы с временны́м разделением сигналов.

Здесь преобразователи измеряемых параметров $Пр_1$, $Пр_2$,... поочередно подключаются коммутатором $Р_1$ к общему модулятору *М*. Генератор $Г_1$ выдает управляющие импульсы. Коммутатор переключается циклически.

На приемной стороне сигналы демодулируются (*Д*) и поступают на вход коммутатора $Р_2$, аналогичного коммутатору $Р_1$. Коммутатор $Р_2$, управляемый генератором $Г_2$, подключает к выходу демодулятора *Д* выходные приборы $ВП_1$, $ВП_2$, . . . При синхронном переключении коммутаторов в каждый момент к передающей и приемной аппаратуре подключаются первичные преобразователи и выходные приборы с одинаковыми номерами.

В рассматриваемом случае синхронизация осуществляется по так называемому циклическому способу. Для этого генераторы $Г_1$ и $Г_2$ настраиваются на примерно одинаковые частоты. В начале цикла переключения коммутатора $Р_1$ при помощи формирователя синхронизирующего импульса *ФСИ* в линию связи посылается импульс, отличающийся от импульсов отдельных каналов каким-либо параметром. Диаграмма сигналов многоканальной системы с широтно-импульсной модуляцией показана на рис. 38,*б*.

На приемной стороне синхронизирующий импульс выделяется различителем синхронизирующего импульса *РСИ* и используется для подсинхронизации генератора $Г_2$, а в случае расхождения коммутаторов — для возврата коммутатора $Р_2$ в начальное положение. Для того чтобы выходные приборы при периодическом подключении правильно воспроизводили изменения контролируемых величин, скорость переключения должна быть достаточно высока.

Согласно теореме В. А. Котельникова, непрерывная функция времени, частотный спектр которой не содержит составляющих частот выше $F_{макс}$, может быть полностью определена последовательностью ее значений, следующих через промежутки времени

$$\Delta t \leqslant \frac{1}{2F_{макс}},$$

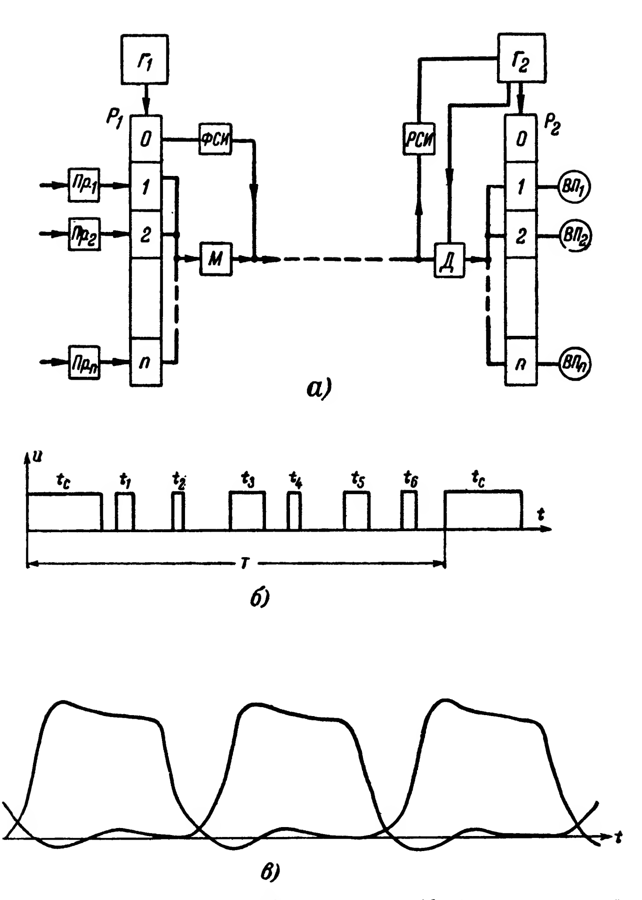


Рис. 38. Блок-схема (*а*) и графики сигналов (*б*, *в*) многоканальной телеизмерительной системы с временным разделением.

Пр — преобразователь измеряемых параметров; *Р* — коммутатор; *Г* — генератор; *М* — модулятор; *Д* — демодулятор; *ФСИ* — формирователь синхронизирующего импульса; *РСИ* — различитель синхронизирующего импульса; *ВП* — выходной прибор; $t_1, t_2, \ldots, t_6$ — импульсы каналов; t_c — синхронизирующий импульс; *T* — период цикла переключения коммутаторов.

Из этих соображений и должна быть выбрана длительность цикла переключений коммутаторов *T*; чем большее быстродействие должна обеспечить телеизмерительная система, тем меньше должна быть длительность цикла.

В обоих типах многоканальных систем возникает необходимость предотвратить или, точнее, свести к допустимому минимуму взаимное влияние каналов. При частотном разделении помехи от соседних каналов получаются из-за того, что характеристики филь-

тров не идеальны. Поскольку за пределами полосы пропускания затухание имеет конечную величину и плавно нарастает по мере удаления от частоты среза, рабочие полосы частот соседних каналов должны быть разделены достаточно большим защитным интервалом ($\Delta f_{защ}$ на рис. 37).

Кроме того, нужно учитывать и появление помех, вызванных так называемой «перекрестной модуляцией». Последняя неизбежно возникает при одновременной передаче сигналов нескольких частот по цепи, содержащей нелинейные элементы. При этом создаются дополнительные составляющие, частоты которых определяются как линейные комбинации частот сигналов. Так, при передаче сигналов с частотами f_1, f_2, f_3, . . . частотный спектр, кроме этих составляющих, может содержать составляющие частот $k_1f_1 \pm k_2f_2 \pm k_3f_3 \pm$ . . ., где коэффициенты k_1, k_2, k_3, . . . — целые числа (0, 1, 2, 3, . . .). В зависимости от вида нелинейности в частотном спектре будут присутствовать те или иные составляющие линейных комбинаций частот, причем амплитуды некоторых составляющих могут быть соизмеримы с амплитудами сигналов. Относительный уровень помех, созданных перекрестной модуляцией, определяется выбранной шкалой частот сигналов и шириной полосы пропускания фильтров, разделяющих каналы. При ограниченном числе каналов и правильно выбранных шкале частот и полосе пропускания можно существенно уменьшить мешающее действие перекрестной модуляции, но не исключить его совсем. Эффективно можно бороться с перекрестной модуляцией, добиваясь линейности всех элементов тракта передачи сигналов, однако практически такой путь не всегда осуществим. Перекрестная модуляция является одним из серьезных препятствий к созданию телеизмерительных систем с частотным разделением при большом числе каналов.

При временном разделении сигналов вследствие ограничения полосы пропускания каналов искажается форма фронтов импульсов. В результате растянутый задний фронт предыдущего импульса перекрывается последующим импульсом, как это показано на рис. 38,*в*. Очевидно, что величина искажения определяется полосой пропускания канала связи, соотношением между продолжительностью импульса и промежутком, разделяющим импульсы, видом модуляции, а также способом приема сигналов.

Сравнение структур многоканальных систем с частотным и временным разделением показывает, что система с временным разделением содержит меньше элементов аппаратуры отдельных каналов. Поэтому последняя система экономичнее при значительном числе измеряемых параметров. Кроме того, в составе аппаратуры отсутствуют частотные фильтры, но зато необходимы коммутаторы и узлы синхронизации. В некоторых случаях системы с временным разделением обеспечивают также выигрыш в помехоустойчивости.

Особенности выполнения многоканальных систем рассматривались выше в предположении, что объекты телеизмерения сосредоточены в одном пункте. Между тем телеизмерительная система часто обслуживает рассредоточенные объекты, т. е. размещенные в значительном числе пунктов, связанных общей линией связи. При этом задача существенно усложняется.

При частотном разделении каналов структура многоканальной системы (рис. 37) в основном может быть сохранена с тем лишь различием, что передающие блоки устанавливаются в различных

пунктах. Однако и здесь возникают некоторые затруднения, в связи с необходимостью выравнивания уровней сигналов при различных расстояниях объектов от приемного устройства.

При временно́м разделении каналов схема рис. 38,*а* в общем случае реализуется путем дублирования в каждом пункте передачи всех общих элементов аппаратуры: коммутаторов, генераторов, модуляторов и др. При этом коммутатор каждого пункта должен быть выполнен на суммарное число объектов телеизмерения всех пунктов. Усложняется и задача синхронизации. Так, при циклическом методе синхронизирующий импульс обычно посылается наиболее удаленным передающим пунктом. При этом надежность синхронизации существенно уменьшается.

Стремление к усовершенствованию многоканальных систем с рассредоточенными объектами заставило отказаться от классических схем. Предложены и используются новые методы построения таких систем с автоматическим вызовом с приемного пункта в заданной последовательности всех объектов. Например, по методу «распределенного переключателя» цепочная линия связи под действием управляющих импульсов, посылаемых с приемного пункта, собирается последовательно. При первом управляющем импульсе приемный пункт соединяется с первым (ближайшим) передающим пунктом и передаются данные телеизмерения с этого объекта; затем включается следующий участок линии связи (соединяется первый объект со вторым), передаются данные телеизмерения со второго объекта и т. д. После приема данных телеизмерения с последнего, наиболее удаленного объекта соединения устраняются; затем цикл передачи данных телеизмерения повторяется вновь. В каждом передающем пункте устанавливается лишь одна переключающая ячейка, поэтому система весьма экономична по числу элементов аппаратуры. Существенным недостатком такой системы является ее низкая надежность: выход из строя любого участка линии связи или переключающей ячейки любого из объектов нарушает работу всей системы.

Другой метод состоит в автоматической последовательной посылке с приемного пункта адресных сигналов, включающих передачу данных телеизмерения с очередного выбранного передающего пункта. Адресный сигнал посылается либо в виде одночастотной посылки или частотного кода, присвоенного данному пункту, либо в виде кода с временны́м разделением элементов сигнала.

Такой метод обеспечивает более высокую надежность и вместе с тем дает более рациональные и гибкие решения при сложной конфигурации линии связи.

Метод посылки адресных сигналов применяется и в тех случаях, когда с каждого из рассредоточенных пунктов передаются данные нескольких телеизмерений. В этом случае система строится по комбинированной схеме: адресный сигнал вызывает передачу с данного объекта, осуществляя запуск коммутатора, с помощью которого последовательно передается вся группа данных нескольких телеизмерений, как и в классической многоканальной системе с временны́м разделением.

Ниже рассмотрены характерные примеры выполнения многоканальных телеизмерительных систем. Описываются только системы с временны́м разделением; в системах с частотным разделением, как уже было указано, используются блоки одноканальной теле-

измерительной аппаратуры, а специфичны лишь многоканальные устройства системы связи.

Впервые многоканальные телеизмерительные системы были выполнены путем дополнения время-импульсных устройств электромеханического типа с большим периодом — 5—15 *сек* (§ 3) — электромеханическими переключателями. Синхронизация переключателей осуществлялась при помощи импульсов, посылаемых по отдельному каналу связи. При низкой частоте повторения сигналов (период повторения от десятков секунд до нескольких минут) необходимо «запоминать» показания до поступления следующего сигнала. Эта задача обычно решалась применением соответствующих приемных механизмов, фиксирующих отсчетное приспособление во время пау-

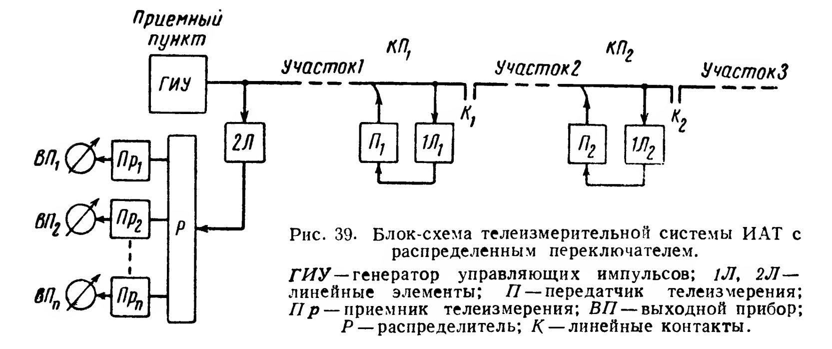


Рис. 39. Блок-схема телеизмерительной системы ИАТ с распределенным переключателем.

ГИУ — генератор управляющих импульсов; *1Л*, *2Л* — линейные элементы; *П* — передатчик телеизмерения; *Пр* — приемник телеизмерения; *ВП* — выходной прибор; *Р* — распределитель; *К* — линейные контакты.

зы между измерительными импульсами. Такие системы применялись при сосредоточении всех контролируемых величин в одном пункте. В первоначальном виде многоканальные системы этого типа в настоящее время применяются редко.

К категории медленно действующих многоканальных время-импульсных систем с временны́м разделением сигналов, созданных в последние годы, можно отнести системы ИАТ и ЦНИИКА, выполненные для рассредоточенных (ИАТ) или размещенных группами в нескольких пунктах (ЦНИИКА) объектов контроля.

Система ИАТ [Л. 6]. Здесь для поочередного подключения датчиков к линии связи применен уже упомянутый метод «распределенного переключателя». Схема рис. 39 поясняет принцип поочередного подключения участков линии связи для передачи данных телеизмерения с пунктов, расположенных вдоль линии. Для упрощения предполагается, что с каждого пункта передаются данные об измерении только одного параметра, хотя это ограничение и не является обязательным.

Источник управляющих импульсов *ГИУ* периодически посылает импульсы в линию связи, составленную из последовательных участков. В начале цикла подключен только участок *1*, и импульс на контролируемом пункте $КП_1$ принимается линейным элементом $1Л_1$. Последний запускает время-импульсный передатчик телеизмерения $П_1$, и на приемный пункт передается первый сигнал, принимаемый линейным элементом *2Л*. Измерительный импульс через распределитель *Р* поступает на приемник $Пр_1$. По окончании измерительного импульса на $КП_1$ замыкаются контакты $К_1$ и подключает-

ся участок *2* линии связи. Распределитель переходит в следующее положение, подключая приемник $Пр_2$. Следующий управляющий импульс вызывает запуск передатчика телеизмерения $П_2$ на $КП_2$, передачу второго измерительного импульса и его прием приемником телеизмерения $Пр_2$; затем на $КП_2$ через контакты $К_2$ подключается участок *3* линии и т. д.

После приема сигнала телеизмерения с последнего контролируемого пункта все ранее установленные соединения участков линии связи нарушаются, а распределитель *Р* возвращается в исходное положение. Система подготавливается к повторному циклу передачи данных телеизмерения .

В первоначальном варианте все переключения в описанной системе производились электромагнитными реле, позднее был создан бесконтактный вариант. Принципиальным недостатком «распределенного переключателя», как уже отмечалось, следует считать пониженную структурную надежность, так как повреждение на любом контролируемом пункте нарушает действие системы.

Система ЦНИИКА [Л. 34]. В этой системе, предназначенной для телемеханизации контроля на магистральных газопроводах, осуществляется циклическая передача данных измерений большого числа параметров с компрессорных станций (*КС*), расположенных вдоль трассы газопровода; с каждой *КС* передаются данные измерения до шести параметров время-импульсным методом с бесконтактными преобразователями (см. § 3). Период измерительного сигнала равен 2 *сек*. На рис. 40 показана упрощенная структурная схема системы.

На каждой компрессорной станции установлен комплект бесконтактных время-импульсных датчиков телеизмерения *Д*, датчик аварийного сигнала *ДАС*, распределитель *1Р*, поочередно коммутирующий выходы датчиков, дешифратор вызывного кода *ДШ* и пусковой элемент *П*.

На диспетчерском пункте *ДП* имеются цифровой преобразователь время-импульсных сигналов в двоично-десятичный код *ЦП*, распределители *2Р* и *3Р* (число позиций первого соответствует числу *КС*, второго — максимальному числу датчиков на *КС*, т. е. шести), матричная схема переключений *МС* и цифровые указатели *ЦУ* (по числу измеряемых параметров), блок вызова телеизмерений с компрессорных станций *БВ* и различитель стартовых импульсов *РСИ*. Кроме того, для целей регистрации используется дешифратор регистрации *ДШР*, программное устройство регистрации *ПУР* и цифровое регистрирующее устройство — электрифицированная пишущая машинка *ЦР*. Для воспроизведения аварийных сигналов предназначается блок *БАС*. Блок управления *БУ* необходим для общего управления последовательностью операций.

Принцип действия бесконтактной время-импульсной системы телеизмерения ЦНИИКА с цифровым воспроизведением показаний был рассмотрен ранее (см. § 3). Здесь описываются лишь операции, выполняемые в многоканальных системах.

В системе осуществляется автоматический циклический вызов сигналов от компрессорных станций. В каждой позиции распределителя *2Р* с помощью блока вызова *БВ* формируется двухчастотный код вызова одной из компрессорных станций. На компрессорной станции *КС* код расшифровывается дешифратором *ДШ*, в результате чего осуществляется запуск с помощью пускового элемен-

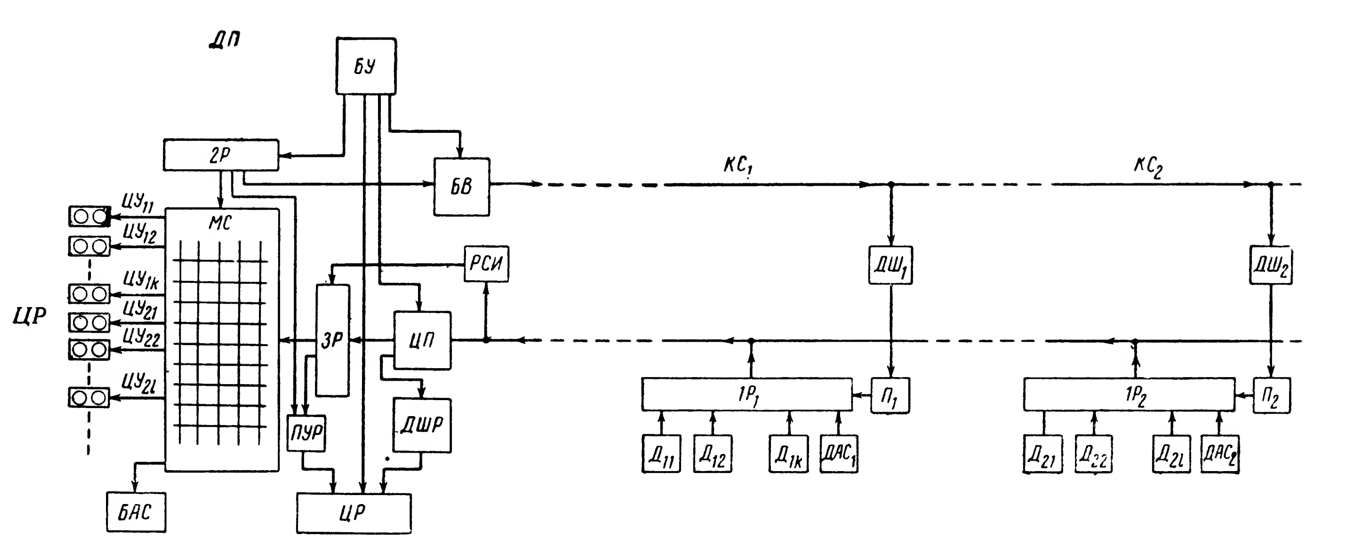


Рис. 40. Блок-схема системы телеконтроля ЦНИИКА для магистрального газопровода.

Д — датчик телеизмерения; *ДАС* — датчик аварийных сигналов; *1Р*, *2Р*, *3Р* — распределители; *ДШ* — дешифратор вызывных сигналов; *П*—пусковой элемент; *БУ*—блок управления; *БВ*—блок вызова; *РСИ*—избиратель стартовых импульсов; *ЦП*—цифровой преобразователь; *ДШР* — дешифратор регистрации; *ПУР* — программное устройство регистрации; *МС* — матричная схема; *ЦУ* — цифровой указатель с памятью; *БАС* — блок аварийной сигнализации; *ЦР* — цифровое регистрирующее устройство.

та *П* распределителя *1Р*; в линию последовательно поступают измерительные импульсы датчиков *Д*. На диспетчерском пункте время-импульсные сигналы преобразуются цифровым преобразователем *ЦП* в цифровой код, и с помощью распределителей *2Р* и *3Р* (первый переключается после приема всей группы измерительных сигналов с данной компрессорной станции, а второй — на каждом импульсе) коды переносятся в дешифраторы индивидуальных цифровых указателей *ЦУ*. Показания «запоминаются» релейной схемой дешифраторов цифровых указателей. Периодически (1 или 2 раза в час) вводится в действие цифровое регистрирующее устройство *ЦР* и в течение цикла приема сигналов с *КС* печатает на общем бланке данные измерений всех контролируемых величин.

Кроме телеизмерения, предусмотрена передача с каждой компрессорной станции в цикле переключения распределителя *1Р* аварийных сигналов (датчик сигналов — *ДАС*, блок воспроизведения — *БАС*). Общее время передачи данных телеизмерения при 15 компрессорных станциях составляет около 6 *мин.* Для повышения помехоустойчивости цифровые указатели при некоторых видах искажения сигналов блокируются. Все узлы аппаратуры (за исключением переключающих схем на *ДП*) выполнены бесконтактными, преимущественно на полупроводных элементах.

В специальных областях (авиация, ракетная техника и др.) получили большое распространение многоканальные время-импульсные системы телеизмерения со сравнительно высокой частотой повторения сигналов (от десятков до тысяч герц). При этом исчезает необходимость в «запоминании» показаний. Передаваемый сигнал, модулированный по длительности или фазе, демодулируется обычно фильтром низких частот с частотой среза, вдвое меньшей частоты повторения сигналов. В промышленности такие многоканальные системы пока еще не применяются, так как требуют широкой полосы частот в канале связи.

Сравнительно редко используются также частотные телеизмерительные системы в многоканальном исполнении с временным разделением.

Несомненный интерес представляет многоканальное исполнение уже описанной выше (см. § 4) частотной системы швейцарской фирмы Броун-Бовери [Л. 20 и 21]. В этой системе применяются индивидуальные передатчики, выходы которых циклически коммутируются; на приемной стороне установлен общий приемник, выход которого периодически соединяется с выходными приборами. Система выполняется на 8, 18, 28 или 38 каналов. Блок-схема многоканальной системы на восемь каналов представлена на рис. 41.

На передающей стороне к ячейкам *1, . . ., 8* коммутатора $К_1$ присоединены передатчики телеизмерения — генераторы $Г_1, \ldots, Г_8$ с регулируемой индуктивностью колебательного контура. Кроме того, к ячейке *П* подключен генератор «пилот-сигнала» $Г_п$. Последняя ячейка коммутатора *С* подключена к генератору синхронизации $Г_с$. Задающий генератор $ТГ_1$, вырабатывающий импульсы с частотой 33 *гц*, через делитель частоты $ДЧ_1$ управляет коммутатором $К_1$; частота переключения равна 16,5 *гц*. С этой частотой в канал связи посылаются измерительные импульсы, импульсы «пилот-сигнала» и синхронизации.

На приемной стороне сигналы поступают на вход приемника *Пр*. Ток выхода последнего определяется частотой заполнения импуль-

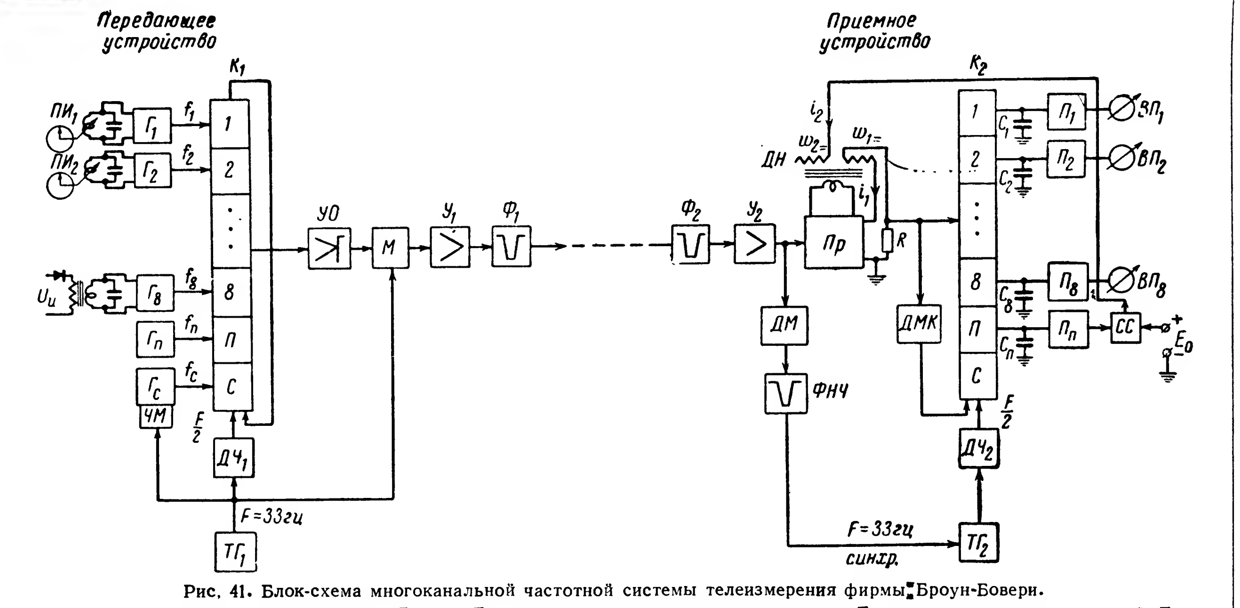


Рис. 41. Блок-схема многоканальной частотной системы телеизмерения фирмы „Броун-Бовери.

K_1, K_2 — бесконтактные коммутаторы, $Г_1$, ..., $Г_8$ — генераторы каналов телеизмерения; $Г_П$ — генератор „пилот-сигнала"; $Г_С$ — генератор синхронизирующего сигнала; $ТГ_1$, $ТГ_2$ — задающие генераторы; $ДЧ_1$, $ДЧ_2$ — делители частоты; $УО$ — усилитель-ограничитель; $М$ — модулятор; $У_1$, $У_2$ — усилители; $Ф_1$, $Ф_2$ — полосовые фильтры; $Пр$ — балансный приемник телеизмерения; $ДН$ — дроссель насыщения; $ДМ$ — демодулятор; $ФНЧ$ — фильтр низких частот; $ДМК$ — демодулятор кодового сигнала ; C_1, ... , C_8, $C_П$, — конденсаторы „памяти" $П_1$, ..., $П_8$, $П_П$, — повторители; $ВП_1$, ..., $ВП_8$ — выходные приборы; $СС$ — схема сравнения; E_0 — опорное напряжение.

сов, т. е. $f_1, \dots, f_8, f_п$. Напряжение, создаваемое током выхода на сопротивлении R, подводится к коммутатору K_2, работающему синхронно с K_1 (принцип синхронизации коммутаторов будет рассмотрен позднее). К выходам коммутатора K_1 подключены запоминающие устройства, составленные из конденсаторов $C_1, C_8, \dots, C_п$ и повторителей $П_1, \dots, П_8, П_п$. К повторителям $П_1, \dots, П_8$ присоединены выходные приборы $ВП_1, \dots, ВП_8$. При частоте переключения 16,5 *гц*, т. е. цикле повторения для восьми каналов в 600 *мсек*, на каждый канал отводится время около 60 *мсек* (при 38 каналах цикл удлиняется до 2,4 *сек*). Поэтому и необходимы запоминающие устройства с постоянной времени, значительно превышающей длительность цикла.

Коммутатором K_1 служит декадная безнакальная лампа тлеющего разряда с 10 катодами и общим анодом. Управляющие импульсы, поступающие на управляющий электрод лампы, поочередно переключают разряд от катода к катоду, осуществляя циклическую коммутацию генераторов. Сигналы снимаются с анода лампы.

Коммутатор K_2 приемного устройства выполнен в виде цепочки триггеров на специальных тиратронах с холодным катодом, соединенной по схеме «разомкнутого кольца». Один из двух тиратронов каждого триггера снабжен дополнительным электродом-зондом. При зажигании тиратрона потенциал этого электрода становится близким к потенциалу катода. С этого электрода и снимается напряжение на конденсатор запоминающего устройства.

«Пилот-сигнал», создаваемый генератором $Г_п$, используется для коррекции нестабильностей, общих для всего телеизмерительного тракта (нестабильность частотно-чувствительной схемы приемника, погрешности преобразования частот в системе связи и т. п.). Для этого напряжение выхода запоминающего устройства ($C_п$, $П_п$) сравнивается со стабильным опорным напряжением E_0. Разность напряжений используется для корректировки настройки приемника при помощи дополнительной обмотки $w_{2=}$ дросселя насыщения *ДН*.

В заключение рассмотрим принцип синхронизации коммутаторов. Для синхронизации генератора $ТГ_2$ сигнал, поступающий с коммутатора K_1, модулируется по амплитуде с помощью напряжения генератора $ТГ_1$ с частотой 33 *гц* в модуляторе *М*. На приемной стороне после демодулятора *ДМ* и фильтра низких частот *ФНЧ* получается напряжение с частотой 33 *гц*, которое используется для синхронизации генератора $ТГ_2$.

Оригинально осуществляется запуск коммутатора K_2. Для этой цели применен частотно-модулируемый (модулирующая частота 33 *гц*) генератор «кодового» сигнала $Г_с$. На приемной стороне демодулированный *ДМК* «кодовый» сигнал используется для запуска коммутатора K_2. Авторы системы полагают, что, несмотря на низкую помехоустойчивость синхронизирующих сигналов с амплитудной модуляцией глубиной 30%, надежность действия обеспечивается и при значительном уровне помех действием «кодового» сигнала.

Полоса частот телеизмерительной системы в зависимости от условий использования канала связи составляет 1 600—4 200 *гц* (около ±8% средней рабочей частоты).

Амплитудно-импульсная аппаратура ЦНИИКА [Л. 35]. Аппаратура предназначена для передачи данных телеизмерения по кабель-

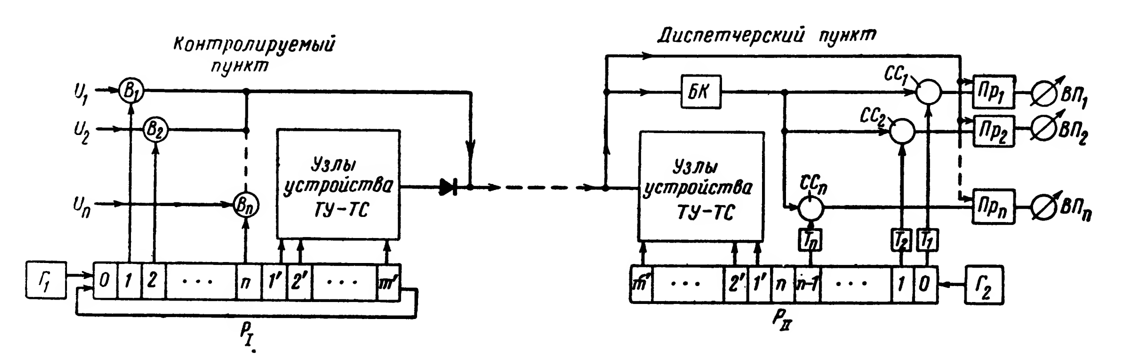


Рис. 42. Узлы телеизмерения комплексного устройства телеизмерения и телеуправления—телесигнализации ЦНИИКА. *Г*—генератор; *Р*—бесконтактный распределитель; *В*—вентиль; *БК*—блок коммутации; *СС*—схема совпадения; *Т*—одновибратор; *Пр*—приемник телеизмерения; *ВП*—выходной прибор.

ной линии связи на небольшие расстояния (порядка нескольких километров). Поскольку при этом внешние условия незначительно влияют на величину параметров линии, применена амплитудная модуляция импульсов.

Аппаратура является дополнением к бесконтактной циклической системе телеуправления — телесигнализации типа БТЦ и используется для передачи сигналов как телеуправления и телесигнализации, так и телеизмерения по общей двухпроводной линии связи.

Распределитель устройства БТЦ одновременно обслуживает и каналы телеизмерения, для чего количество ячеек распределителя увеличено на число телеизмеряемых параметров.

На рис. 42 представлена блок-схема телеизмерительной аппаратуры и узлов устройства телеуправления, участвующих в передаче сигналов телеизмерения.

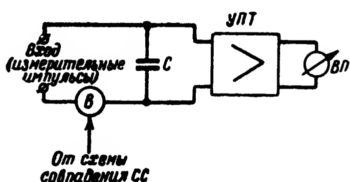


Рис. 43. Принципиальная схема приемника телеизмерительного канала. *С* — конденсатор „памяти"; *УПТ* — усилитель постоянного тока; *В* — вентиль; *ВП* — выходной прибор.

На передающей стороне измеряемые параметры, предварительно преобразованные в постоянные напряжения U_1, $U_2, \ldots, U_n$, подводятся к вентилям B_1, $B_2, \ldots, B_n$, управляемым импульсами от распределителя P_I. Таким образом, за каждый цикл переключений распределителя поочередно открываются на короткий промежуток времени вентили и в линию связи передаются импульсы с амплитудами U_1, U_2, . . ., U_n. На приемной стороне импульсы сигналов телеизмерения усиливаются и поступают на входы приемников $Пр_1$, $Пр_2$, . . ., $Пр_n$. Входы всех приемников при отсутствии импульсов заперты при помощи вентилей. На время длительности очередного измерительного импульса соответствующий приемник отпирается; в цепи выходного прибора *ВП* устанавливается ток, пропорциональный амплитуде измерительного импульса. Этот ток поддерживается до повторного поступления измерительного импульса данного параметра.

Управление приемником производится при помощи импульсов, поступающих от распределителя P_{II} через одновибратор *Т* и импульсов, принимаемых из линии связи и переформированных (удлиненных) блоком коммутации *БК*.

Упрощенная схема приемника представлена на рис. 43. Приемник содержит вентиль *В*, запоминающий конденсатор *С* и усилитель постоянного тока с высоким входным сопротивлением *УПТ*.

Одновибратор *Т* запускается импульсом от предыдущей ячейки P_{II} и задерживается на время, достаточное для совпадения с очередным импульсом, а следовательно, и с импульсом, создаваемым *БК*. На время перекрытия этих импульсов открывается вентиль *В* и на конденсаторе *С* устанавливается напряжение, равное амплитуде измерительного импульса. После закрытия вентиля конденсатор отключается от входа и сохраняет это напряжение в течение периода повторения, т. е. до нового открытия вентиля. Напряжение усиливается УПТ, питающим цепь выходного прибора ВП. Такая схема управления приемником применяется для исклю-

чения ошибок, вызванных искажением фронтов измерительного импульса.

Аппаратура построена в основном на полупроводниковых приборах: триодах и диодах. Лишь вентиль и усилитель постоянного тока приемника выполнены на двух пальчиковых электронных лампах. При цикле повторения до 1 *сек* погрешность телеизмерения не превосходит 1,5%.

Простота аппаратуры делает целесообразным ее применение в сочетании с устройством телеуправления даже при небольших расстояниях (0,5—2 *км*). Однако при протяженных линиях связи ее помехоустойчивость сравнительно низка. Поэтому сейчас аппаратура видоизменена — дополнена время-импульсными модулятором и демодулятором.

Современные кодо-импульсные телеизмерительные системы, как правило, выполняются многоканальными. Как уже было отмечено, по своей структуре кодо-импульсные телеизмерительные преобразователи значительно сложнее преобразователей систем с непрерывным сигналом и содержат большее число элементов. При многоканальном исполнении системы этот недостаток кодо-импульсных систем менее существенен, так как количество элементов аппаратуры на один канал резко снижается, особенно при большом числе каналов. Вместе с тем кодо-импульсная система наиболее приемлема для многоканального исполнения — она органически содержит «память» в приемном устройстве; требования к переключателям невысоки, так как коммутируются дискретные сигналы и т. д. В качестве примера рассмотрим принцип действия 60-канальной кодо-импульсной системы французской фирмы SECRE [Л. 26].

Как уже было указано выше (см. § 5), в этой системе для передачи телеизмерения используется шестиразрядный двоичный код с частотным разделением элементов; коды различных измеряемых величин разделяются во времени. Источником тактирующих импульсов является питающая сеть переменного тока 50 *гц*; кодирование и передача кода одной измеряемой величины занимают два периода, т. е. 40 *мсек*. Таким образом, полное время передачи 60 величин составляет 2,4 *сек*.

В связи с трудностью бесконтактного переключения выходных цепей датчиков в схеме используются индивидуальные время-импульсные модуляторы. Все остальные элементы передающего устройства являются общими для всех каналов, как это показано на рис. 44.

На модуляторы *М* поочередно через 40 *мсек* поступают коммутирующие импульсы от матричного распределителя *МР*. Последний построен на бесконтактных элементах и состоит из трех узлов: распределителя столбцов P_1, распределителя строк P_2 и матрицы, содержащей в каждом узле схему совпадения. Распределитель столбцов P_1 приводится в движение импульсами от блока управления *БУ*, следующими с частотой 25 *гц*, и поочередно выдает импульсы на столбцы матрицы, начиная с первого и кончая восьмым. Распределитель P_1 работает циклически. При завершении каждого цикла с восьмой ячейки P_1 подается очередной импульс на распределитель строк P_2, который аналогичен распределителю P_1. Таким образом, при периодическом следовании импульсов управления строка за строкой обходятся все узлы матрицы, вызывая последовательное срабатывание схем совпадения и поочередную выдачу коммути-

рующих импульсов модуляторам M_1, . . ., M_{60}. После возбуждения 60-й ячейки матрицы распределитель *МР* возвращается в исходное состояние и цикл повторяется.

Для синхронизации переключений на приемной стороне используются две дополнительные частотные посылки. Одна из них (f_{c1}) посылается при поступлении от блока управления импульса пере-

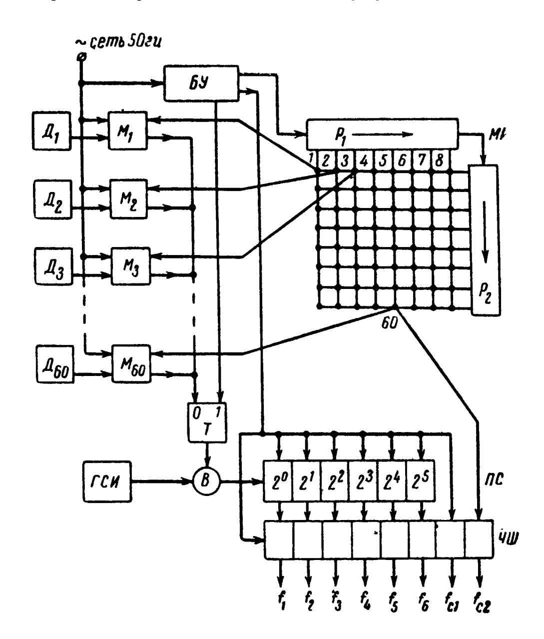


Рис. 44. Блок-схема передающего устройства многоканальной кодо-импульсной телеизмерительной системы фирмы SECRE.

Д — датчик телеизмерения; *М* — время-импульсный модулятор; *Т* — триггер; *ГСИ* — генератор счетных импульсов; *В* — вентиль; *ПС* — пересчетная схема; *ЧШ* — частотный шифратор; *БУ* — блок управления; *МР* — матричный распределитель; P_1, P_2 — распределители.

ключения распределителя *МР* и, таким образом, отмечает момент смены каналов; другая (f_{c2}) посылается при окончании цикла переключения распределителя *МР*.

На приемной стороне (рис. 45) используются общие блок частотных фильтров *ЧФ* и все элементы преобразования параллельного частотного кода в последовательную серию импульсов, а также матричный распределитель *МР*, аналогичный описанному выше. Переключениями распределителя *МР* управляет блок синхронизации *БС*, действующий от сигналов с частотами f_{c1} и f_{c2}.

Индивидуальными являются аналогово-цифровые приемники *АЦП*, последовательно подключаемые при работе матричного рас-

пределителя через вентили $B_1, \ldots, B_{60}$. Пересчетная схема приемника *ПС* выполняет одновременно функции памяти, сохраняя показания на время цикла переключений.

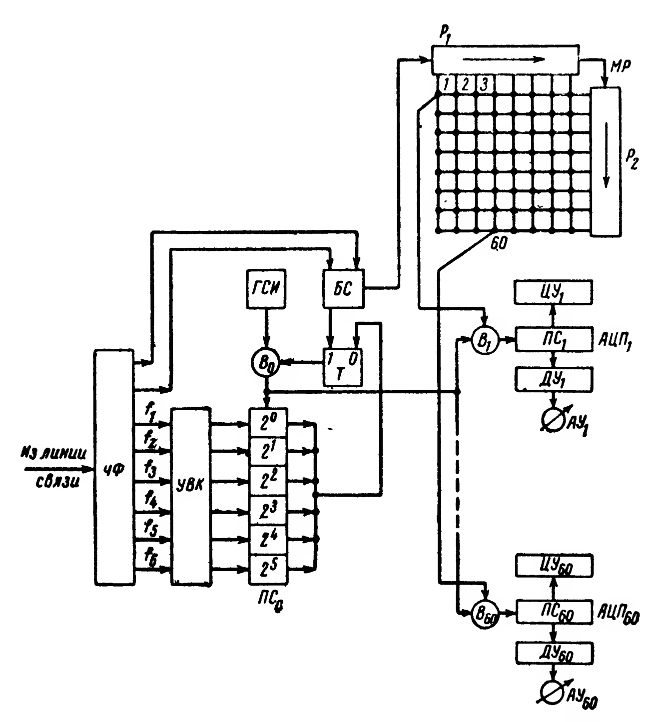


Рис. 45. Блок-схема приемного устройства многоканальной кодоимпульсной телеизмерительной системы фирмы SECRE.

ЧФ — блок частотных фильтров; *УВК* — устройство ввода кода; *ПС* — пересчетная схема; *ГСИ* — генератор счетных импульсов; *В* — вентиль; *БС* — блок синхронизации; *МР* — матричный распределитель; *Т* — триггер; P_1, P_2 — распределители; *АЦП* — аналогово-цифровой преобразователь; *ЦУ* — цифровой указатель; *ДУ* — декодирующее устройство; *АУ* — аналоговый указатель.

7. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В последние годы телеизмерительная техника быстро развивается. Наряду с усовершенствованием старых систем, существующих уже с тридцатых годов (например, длиннопериодных электромеханических время-импульсных систем), предложены новые принципы решения известных задач, созданы новые системы. Особенно значительные изменения телеизмерительная техника претерпела с 1948 по 1950 г. Для этого периода характерно широкое внедрение электронной аппаратуры, вытеснившей прежнюю электромеханическую

контактную аппаратуру. Условия для прогресса телеизмерительной техники были подготовлены прежде всего накоплением опыта применения средств телеизмерения как в промышленности, так и в специальных областях. Не менее важную роль сыграло развитие смежных областей техники: радиолокации и импульсной техники, полупроводниковой электроники, вычислительной техники. Развитие теории информации и других теоретических дисциплин, рассматривающих проблемы передачи сигналов и осуществления измерительных преобразований, создало прочную базу для усовершенствования известных методов построения телеизмерительных систем и поисков новых решений.

Современное развитие телеизмерительной техники направлено на решение следующих основных задач:

1) повысить точность и помехоустойчивость телеизмерения в условиях работы по протяженным линиям связи и каналам связи со значительным уровнем помех;

2) обеспечить высокую эксплуатационную надежность телеизмерительной аппаратуры, свести к минимуму вмешательство обслуживающего персонала;

3) расширить области применения телеизмерительных систем, в частности, создать аппаратуру для рассредоточенных объектов контроля; применить средства телеизмерения для автоматического управления и в том числе для ввода информации в управляющую вычислительную машину и передачи вырабатываемых ею команд;

4) объединить в единый комплекс все виды телемеханических средств передачи информации, обеспечив при этом как минимальные затраты на аппаратуру, так и эффективное использование линий связи.

Описанные выше телеизмерительные системы в большей или меньшей степени отвечают этим задачам.

В настоящее время развернуты поисковые работы, которые, несомненно, приведут к практическому внедрению новых, прогрессивных решений. Попытка предсказать конкретные решения была бы, вероятно, безуспешной ввиду обилия новых предложений. Поэтому ограничимся лишь изложением наиболее существенных тенденций в развитии телеизмерительной техники.

а) Применение новых элементов аппаратуры

Стремление повысить надежность действия аппаратуры телеизмерения привело сначала к замене электромеханических устройств с подвижными частями и контактами (в том числе и электромагнитных реле) электронными лампами. Однако задачу нельзя было считать решенной, так как срок службы электронных ламп ограничен и в среднем составляет 4—5 тыс. *ч*. Более эффективные решения получены при использовании в телеизмерительной аппаратуре полупроводниковых приборов (триодов и диодов) и магнитных элементов (в том числе ферритов) с весьма значительным сроком службы.

В настоящее время почти все новые телеизмерительные устройства конструируются на полупроводниковых и магнитных элементах. Некоторые из этих устройств описаны выше. Следует заметить, что такие элементы наиболее эффективно применяются в аппаратуре дискретного действия

б) Создание комплексных телемеханических систем

В подавляющем большинстве систем телемеханизации контроля и управления в промышленности наряду с телеизмерением применяется телесигнализация, а часто и телеуправление. Конструирование отдельных устройств для выполнения этих функций увеличивает не только объем аппаратуры, но и число используемых каналов связи. Эффективное решение дает выполнение комплексных телемеханических систем, сочетающих все функции телемеханического контроля и управления.

Применение комплексных систем оказывается наиболее целесообразным для распределенных объектов контроля и управления, когда в каждом пункте число точек измерения, сигнализации и управления невелико (1—3).

Примеры комплексных систем рассмотрены в § 6, где, впрочем, основное внимание было уделено телеизмерению.

в) Применение дискретных (цифровых) методов в телеизмерении

Одним из новейших направлений в развитии телеизмерительной техники является применение цифровых методов во всех звеньях систем, от преобразователей измеряемого параметра в сигнал до указывающих и регистрирующих приборов. Ввиду большого значения этого направления рассмотрим его возможности подробнее.

Не всегда переход от аналоговой формы отображения измеряемых параметров к цифровой форме совершается в первом передающем звене телеизмерительной системы, как в кодо-импульсных системах. Иногда дискретное преобразование сигналов аналоговых (непрерывных) телеизмерительных систем выполняется на приемной стороне. Такое решение позволяет использовать ряд преимуществ цифрового воспроизведения («память», цифровая печать на общем бланке, простота построения мнемосхем, удобство сочетания с цифровыми системами обработки данных и управляющими машинами), и в то же время сохраняет преимущество простоты и дешевизны аппаратуры с непрерывными сигналами, устанавливаемой на контролируемых пунктах. При этом зачастую оправдана потеря некоторых преимуществ цифровых методов, в полной мере сказывающихся лишь в кодо-импульсных системах телеизмерения.

Рассмотрим ряд особенностей цифровых систем — вначале применительно к кодо-импульсным системам телеизмерения, а затем применительно к системам с цифровым преобразованием сигналов на приемной стороне.

Особенности кодо-импульсных систем. Эти системы обладают рядом преимуществ, которых лишены системы с непрерывными сигналами и цифровым приемом. К их числу относятся: возможность получения большей точности, возможность увеличения помехоустойчивости и дальности передачи (особенно в случае применения помехозащищенных и самокорректирующихся кодов), возможность более экономичного использования канала связи, когда применяются так называемые эффективные коды, статистически согласованные с передаваемыми сообщениями. Поясним высказанные положения.

Т о ч н о с т ь. После перехода от непрерывной формы отображения измеряемой величины к цифровой (кодовой), дальнейшая пе-

редача и обработка кодов не сопровождаются изменением точности. Здесь имеется в виду, что случаи ошибочного приема «нуля» вместо «единицы» и «единицы» вместо «нуля» исключены построением достаточно помехоустойчивой системы. Таким образом, точность системы всецело определяется точностью части измерительного тракта, предшествующей цифровому преобразователю, и точностью самого цифрового преобразователя. Достигнутая точность первичных измерительных приборов и датчиков, преобразующих измеряемые величины в напряжение (ток), а также устройств преобразования угла или напряжения (тока) в код (порядка 0,1%) выше достигнутой точности передающих преобразователей телеизмерительных систем с непрерывными сигналами (порядка 0,5—1,5%). Кроме того, помехи и погрешности, вносимые приемником, еще более снижают точность последних систем. Этим объясняется преимущество кодо-импульсных телеизмерительных систем в отношении достижимой точности.

П о м е х о у с т о й ч и в о с т ь. Проблема помехоустойчивости сводится для кодо-импульсных систем к вопросу о том, насколько вероятен ошибочный прием «единицы» при передаче «нуля» или «нуля» при передаче «единицы». Такой ошибочный прием вызывает особенно значительные погрешности в тех случаях, когда искажаются старшие разряды кода. Опыт эксплуатации простейших кодо-импульсных систем телеизмерения, не снабженных специальными средствами для распознавания искажений при приеме, показывает, что случаи сбоев показаний крайне редки. Это объясняется тем, что ошибочный прием значения какого-либо разряда кода происходит только при помехах большой мощности (соизмеримой с мощностью сигнала), которые совпадают по времени с моментом опроса значения данного разряда кода. Рис. 46, где *а* — передаваемый код, *б* — результат наложения помех на сигнал, иллюстрирует влияние помех на прием кода.

Как правило, из принятых импульсов вырезается узкая полоса, ограниченная двумя горизонтальными линиями *I—I* и *II—II* (рис. 46,*б*). Для этого на входе приемника ставятся усилитель-ограничитель и дискриминатор уровня. Кроме того, распознавание разрядов кода ведется в моменты времени, определяемые тактовым генератором и распределителем приемника. «Единица» в разряде кода обнаруживается, если имеет место совпадение импульса с ячейки распределителя (рис. 46,*г*) с импульсом на выходе усилителя-ограничителя и амплитудного дискриминатора (рис. 46,*в*). Рис. 46,*д* иллюстрирует запись импульсов кода в ячейки памяти приемника. Он показывает, что возникновение ложных импульсов зачастую не нарушает приема. Так, эффект дробления пятого импульса вызывает лишь повторение записи «единицы» в том же разряде принятого кода. Только большая помеха, совпавшая с моментом распознавания четвертого разряда, вызвала запись в четвертой ячейке «единицы» вместо «нуля».

Несравненно большее увеличение помехоустойчивости может быть достигнуто применением специальных помехозащищенных и самокорректирующихся кодов. Приведем примеры кодов, рассчитанных на защиту от одного искажения в любой (каждой) группе кодовых импульсов (кодовой посылке); вероятность появления двух искажений считается ничтожно малой. Возможна защита и от более сложных искажений, но здесь она не рассматривается.

Простейший способ защиты от одного искажения состоит, например, в дополнении каждой кодовой посылки одним лишним разрядом, в котором передается импульс только в том случае, если общее количество предшествующих ему импульсов данной посылки («единиц» данного кода) нечетно. Тогда общее число передаваемых импульсов в каждой посылке четно. При искажении одного разряда, т. е. приеме «единицы» вместо «нуля» или «нуля» вместо «единицы», общее число принятых «единиц» станет нечетным. Что-

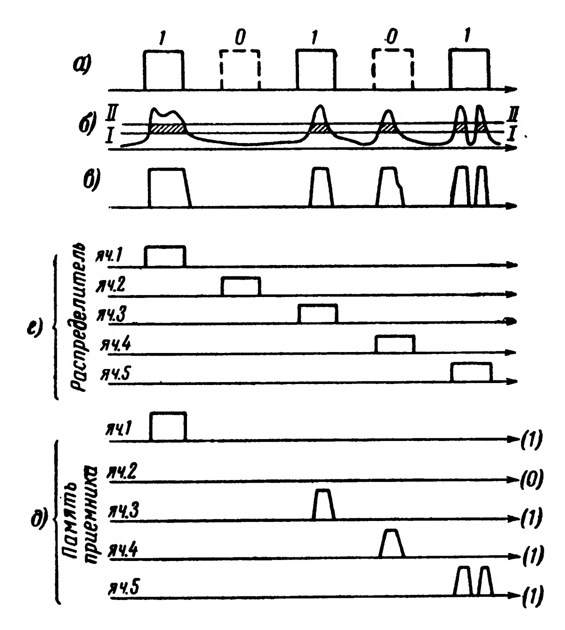


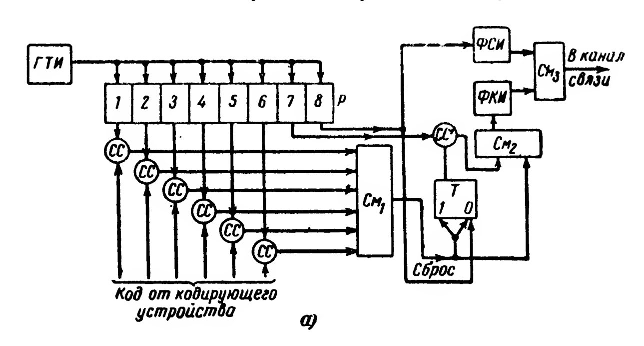
Рис. 46. Диаграммы передачи и приема дискретных сигналов при действии помех.

а — передаваемый сигнал; *б* — сигнал, искаженный помехами; *в* — сигнал, фиксируемый приемником; *г* — импульсы приемного распределителя; *д* — запись импульсов в ячейках памяти приемника.

бы обнаружить искажение, достаточно установить один триггер со счетным входом, состояние которого изменяется при приеме каждой «единицы» в разрядах кода. Если состояние триггера к концу приема данного кода отличается от состояния в начале приема, то фиксируется наличие искажения, и принятый код не передается в устройство воспроизведения. На рис. 47 показаны видоизменения обычных схем передатчика (*а*) и приемника (*б*), обеспечивающие помехозащищенный прием по принципу «чет-нечет».

Обычная схема считывания полученного кода (см., например, рис. 33) посредством циклического распределителя *Р* и схем совпадения *СС* и передачи его в канал связи дополняется триггером *Т* со счетным входом, на который поступают через смеситель $См_1$

кодовые импульсы. Положение триггера T после окончания считывания последнего (шестого) кодового импульса опрашивается импульсом с седьмой ячейки распределителя через схему совпадения CC'. Последняя выдает импульс в случае, если триггер находится



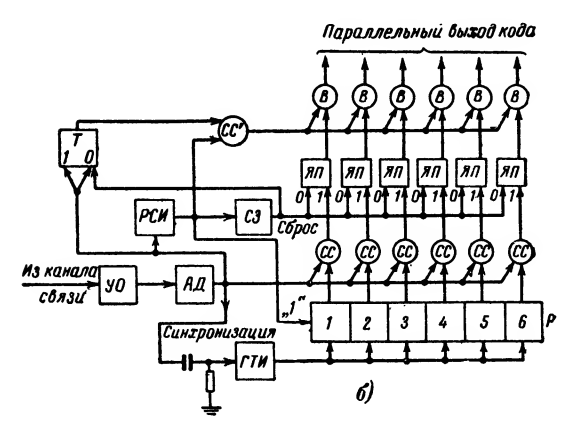


Рис. 47. Видоизменение схем передатчика (*а*) и приемника (*б*) двоичного кода для системы „чет-нечет".

ГТИ — генератор тактовых импульсов; *Р* — распределитель; *СС* — схема совпадения; *См* — смеситель; *Т* — триггер; *ФКИ* — формирователь кодовых импульсов; *ФСИ* — формирователь синхронизирующего импульса; *УО* — усилитель-ограничитель; *АД* — амплитудный дискриминатор; *РСИ* — различитель синхронизирующего импульса; *СЗ* — схема задержки; *ЯП* — ячейка памяти; *В* — вентиль.

в положении «1», т. е. если на вход его пришло нечетное число импульсов. Далее импульсы с выхода первого смесителя $См_1$ и схемы совпадения CC' объединяются вторым смесителем $См_2$ и после него формируются формирователем кодовых импульсов *ФКИ*, как и в обычной схеме. Наконец, как обычно, к этим импульсам через смеситель $См_3$ добавляется синхронизирующий импульс увеличенной длительности, полученный от формирователя *ФСИ* по сигналу с последней (восьмой) ячейки распределителя. Этот же сиг-

нал возвращает триггер *Т* в исходное состояние по входу 0. Распределитель приводится в движение генератором тактовых импульсов *ГТИ*.

Обычная схема приемника (см., например, рис. 34) дополнена триггером *Т* со счетным входом, схемой совпадения *СС'* и вентилями *В* в цепях передачи набранного параллельного кода с ячеек памяти *ЯП* на дешифратор цифрового указателя или иной приемный узел. Входные импульсы после усиления, ограничения и амплитудной дискриминации подаются на дифференцирующую цепочку, выделяющую импульсы синфазирования генератора тактовых импульсов *ГТИ*, на схемы совпадения *СС*, на различитель синхронизирующего импульса *РСИ* и на счетный вход триггера *Т*. Через схемы совпадения распределитель нециклического действия *Р* ведет опрос значений разрядов кода. Выходные импульсы схем совпадения *СС* поступают на «единичные» входы ячеек памяти *ЯП*, записывая в них значения разрядов кода. Одновременно триггер считает число «единиц» в коде. Если число всех импульсов вместе с синхронизирующим нечетное (прием правильный), то положение триггера к моменту выдачи сигнала различителем синхронизирующего импульса *РСИ* будет таким, что схема совпадения *СС'* выдаст сигнал отпирания вентилей *В* в цепях выдачи кода. Затем, после некоторой задержки, определяемой схемой задержки *СЗ*, произойдет сброс ячеек памяти (по «нулевым» входам) и возврат триггера в исходное состояние. Если на триггер поступит одним импульсом больше или меньше, вентили *В* не откроются перед сбросом кода с ячеек памяти. Распределитель останавливается после выдачи импульса с последней (шестой) ячейки и подготавливается к новому циклу движения вводом «единицы» в первую ячейку от различителя синхронизирующего импульса. Заметим, что в приведенной схеме триггер считает не только кодовые импульсы, но и синхронизирующий. Поэтому общее число сосчитанных импульсов при правильном приеме должно быть нечетным в отличие от того, что сказано несколько ранее при описании самой идеи построения и приема помехозащищенного кода.

Помехозащищенный код благодаря содержащейся в нем избыточной информации исключает выдачу ложного кода при возникновении искажений от помех. Однако определить по результату приема истинное значение искаженного кода нельзя.

При введении еще большей избыточности информации можно, например, восстановить истинный код в случае возникновения не более одного искажения в пределах одной кодовой посылки. Такой код называется с а м о к о р р е к т и р у ю щ и м с я. Принцип построения самокорректирующихся кодов следующий.

Число разрядов кода выбирается таким, чтобы каждому значению измеряемой величины можно было приписать не одну, а несколько кодовых комбинаций (группу кодов). Каждая группа кодов строится так, что при одном искажении любого разряда основного кода новый образовавшийся код принадлежал к той же группе. Тогда можно при приеме установить, какой код был передан. Покажем способ образования и дешифровки подобного кода на примере. Пусть исходный код — четырехразрядный и его разряды a_1, a_2, a_3 и a_4 могут принимать значения 1 или 0. Добавим к каждой четырехразрядной кодовой комбинации три дополнительных корректирующих разряда a_5, a_6 и a_7, которые также могут принимать

значения 1 или 0. Эти значения выбираются такими, чтобы были четными суммы $S_1=a_1+a_2+a_3+a_5$; $S_2=a_1+a_2+a_4+a_6$ и $S_3=a_1+$ $+a_3+a_4+a_7$. При этом проверка на четность трех сумм S_1, S_2 и S_3 на приемной стороне позволит однозначно установить переданный код в случае любого единичного искажения (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 или a_7). Четность всех трех сумм указывает на отсутствие ошибок при передаче. Нечетность одной из сумм свидетельствует об ошибочном приеме одного из корректирующих разрядов: a_5, a_6 или a_7. Одновременная нечетность двух сумм S_1 и S_2 указывает на неверный прием a_2; S_1 и S_3 — на неверный прием a_3; S_2 и S_3 — на неверный прием a_4. Наконец, одновременная нечетность всех трех сумм однозначно определяет ошибку в приеме значения разряда a_1.

Техническая реализация такой самокорректирующейся системы в некоторой степени аналогична реализации рассмотренной системы с помехозащищенным кодом: требуется лишь большее число триггеров контроля четности и дополнительных логических схем.

Построение самокорректирующихся систем значительно сложнее, чем построение систем с помехозащищенным кодом, и вряд ли оправдано в промышленном телеизмерении.

Эффективное кодирование. В современных кодо-импульсных телеизмерительных системах используется так называемый комплектный код, выражающий каждое сообщение одинаковым суммарным числом разрядов (импульсов и пауз). Такой код неэкономичен с точки зрения использования канала связи, когда не все возможные числовые значения измеряемых величин равновероятны. Практически каждый параметр контролируемого технологического процесса изменяется в основном в небольшом диапазоне вблизи некоторого среднего значения, большие же отклонения возможны лишь при отклонении от номинальных режимов процесса. Но шкала измерений не может быть ограничена диапазоном нормальных значений, а должна охватывать весь диапазон возможных значений параметра.

Очевидно, что в этом случае все же можно существенно сократить среднее количество разрядов, приходящихся на одно сообщение, т. е. на передачу одного значения измеряемого параметра. Нужно только составить некомплектный код, приписав наиболее короткие кодовые комбинации наиболее вероятным (наиболее часто повторяющимся) значениям измеряемой величины, а более длинные обозначения — менее вероятным значениям, т. е. привести длины кодовых комбинаций в соответствие со статистическим характером изменения параметра. Полученный таким образом код можно затем дополнить разрядами, позволяющими обнаруживать искажения, возникающие от помех. При этом экономия уменьшается, но такой код все же выгоднее, чем комплектный код, дополненный контрольными разрядами.

В настоящее время предложено несколько систем эффективных кодов (например, код Шенона — Фэно). Однако следует подчеркнуть, что практически выполненных кодо-импульсных телеизмерительных систем с эффективным кодированием в настоящее время еще нет. Вопросы передачи, приема и дешифрирования таких кодов еще должны быть разработаны.

Кодирование с предсказанием. Статистическая связь между последовательными во времени значениями измеряемой величины уменьшает информационное содержание сообщений.

По значениям, которые принимала измеряемая величина при нескольких предыдущих отсчетах, можно, зная корреляционную функцию, с большой вероятностью предсказать, какое значение она должна принять при данном замере. Разумеется, нельзя предсказать это значение с полной достоверностью, так как тогда незачем было бы передавать сигналы. Но среднюю ошибку таких предсказаний можно сделать малой.

Если установить два идентичных предсказателя на передающей и приемной сторонах, то можно ограничиться передачей по каналу связи величин ошибок каждого предсказания. Передающее устройство должно вычитать из истинного значения измеряемой величины то значение, которое получено предсказанием по значениям нескольких предыдущих отсчетов. Результат, являющийся ошибкой предсказания, может быть закодирован и передан по каналу связи. Предсказатель приемника должен вырабатывать то же значение, что и предсказатель передатчика. К этому значению следует добавить результат, полученный после дешифрирования принятого сигнала ошибки предсказания.

Кодирование в этом случае будет эффективным, если длины кодовых комбинаций привести в соответствие с величинами ошибок предсказания.

Цифровые преобразования в аналоговых телеизмерительных системах. Современное состояние техники цифровых преобразований и цифрового воспроизведения открывает широкие перспективы усовершенствования не только методов передачи, но и методов приема, воспроизведения и обработки информации в системах диспетчерского контроля. Рост функций контроля и управления и рост объема производственных процессов, управление которыми сосредоточено на едином диспетчерском пункте, вызывают необходимость все большей автоматической обработки поступающей информации, выделения существенных данных, выполнения некоторых математических операций. В результате этой обработки диспетчер получает два вида информации: 1) оперативную, для немедленного принятия решений о непосредственном воздействии на технологический процесс; 2) аналитическую, для анализа работы производственных установок в течение определенного промежутка времени (смены, суток, месяца и т. д.). Аналитическая информация должна сохраняться длительное время, для ее регистрации применяются запоминающие устройства.

Регистрация в цифровой форме хотя и менее наглядна, но обладает рядом преимуществ перед регистрацией в аналоговой форме (на диаграммах). Во-первых, она позволяет получить большую точность. Во-вторых, при такой регистрации легче достигнуть синхронизации ряда измерений во времени, что зачастую весьма важно. В-третьих, она получается наиболее компактной и емкой. Регистрируемая в цифровой форме информация может предназначаться как для чтения человеком, так и для машинной обработки. В первом случае применяется десятичная цифровая печать, во втором случае — кодовая запись на перфорационных или магнитных лентах и т. п.

Оперативная информация не сохраняется длительно, но и здесь нужна память в тех случаях, когда информация поступает на указывающий прибор с перерывами во времени. Когда перерывы длятся несколько секунд и более, сохранение информации средствами

непрерывной техники весьма затруднительно. В то же время данные в цифровой форме запоминаются простейшими средствами — практически любыми элементами, имеющими два устойчивых состояния (реле, триггеры и т. д.). Необходимость запоминания показаний в многоканальной телеизмерительной системе с разделением каналов во времени сама по себе может потребовать перехода к цифровой форме воспроизведения показаний, если контролируемый объект инерционен, а цикл измерений превышает постоянную времени воспроизводящего прибора.

К достоинствам цифровых указателей следует отнести и легко воспринимаемые диспетчером показания при сравнительно небольших габаритах самих указателей: как правило, воспроизводимое число занимает почти всю площадь лицевой поверхности такого прибора. Поэтому их можно устанавливать непосредственно в щитовых мнемосхемах контролируемых объектов. Применение цифрового воспроизведения необходимо также при вводе телеизмерительной информации в цифровую вычислительную машину.

Рассмотрим способы цифровых преобразований сигналов различных телеизмерительных систем.

Время-импульсная система. Квантование временного интервала производится подсчетом числа импульсов фиксированной частоты в течение этого временно́го интервала. В зависимости от структуры пересчетной схемы последняя фиксирует число в том или ином коде: двоичном, двоично-десятичном, единично-десятичном. Обычно во время-импульсных системах телеизмерения нулевое значение параметра передается импульсом некоторой длительности $t_{мин}$, так что изменению параметра A от 0 до $A_{макс}$ соответствует изменение длительности импульса от $t_{мин}$ до $t_{макс}$. Между A и t имеется простая зависимость:

$$t = t_{мин} + \frac{t_{макс} - t_{мин}}{A_{макс}} A.$$

При кодировании необходимо вычесть из числа N, соответствующего длительности t, число $N_{мин}$ (соответствующее $t_{мин}$). Это вычитание реализуется достаточно просто — путем предварительной установки на пересчетной схеме кода числа $(N_{пред} - N_{мин} + 1)$, где $N_{пред}$ — предельное число, фиксируемое счетчиком. Тогда после начала счета первые $N_{мин} - 1$ импульсов зафиксируют на счетчике число $N_{пред}$. Следующий счетный импульс приведет счетчик в состояние 0. Остальные $(N - N_{мин})$ импульсов зафиксируют на счетчике число, соответствующее величине измеряемого параметра A.

Частотная и частотно-импульсная системы. Цифровое преобразование сигналов этих систем выполняется по схеме, аналогичной рассмотренной выше. Разница состоит в том, что место стабильного генератора счетных импульсов занимает формирователь импульсов, управляемый приходящим из канала сигналом, а временем открытия вентиля на входе пересчетной схемы управляет датчик стабильных временны́х интервалов (стабильное реле времени). При этом число сосчитанных импульсов пропорционально частоте сигнала.

Системы интенсивности. Сигналы телеизмерительных систем интенсивности сложнее для цифрового преобразования, чем сигналы время-импульсной и частотной систем.

В принципе для этой цели может быть использован любой из цифровых преобразователей, рассмотренных при описании кодо-импульсных телеизмерительных систем (см. § 5). Может также оказаться целесообразным предварительно преобразовать сигнал (ток или напряжение) в частоту или время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фремке А. В., Телеизмерения, Госэнергоиздат, 1958.

2. Жданов Г. М., Телеизмерение, Госэнергоиздат, ч. I, 1951; ч. II, 1952.

3. Никольс М. Х., Раух Л. Л., Радиотелеметрия, Изд. иностранной литературы, 1958.

4. Малов В. С., Телемеханика, Госэнергоиздат, 1960.

5. Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С., Основы автоматики и телемеханики (второе издание), Госэнергоиздат, 1959.

6. Телемеханизация в народном хозяйстве, Сборник, Изд. АН СССР, 1956.

7. Малов В. С., Шенброт И. М., Купершмидт Я. А., Павлов В. В., Состояние промышленной телемеханики, Изд. ЦБТИ ЦНИИКА, 1959.

8. Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах (издание второе), Госэнергоиздат, 1955.

9. Ильин В. А., Новиков А. И., Новые принципы построения систем телеизмерения с время-импульсной и широтно-импульсной модуляцией, «Автоматика и телемеханика», 1958, № 2.

10. Ильин В. А., Системы телемеханики для рассредоточенных объектов, Госэнергоиздат, 1960.

11. Пшеничников А. М., Статическое передающее устройство частотно-импульсной системы телеизмерения, «Автоматика и телемеханика», 1957, № 5.

12. Royer G. H. A switching transistor d. c. to a. c. converter having an output frequency proportional to d. c. input voltage, Transaction AIEE, July 1955, v. 74, Pt. I.

13. Van Allen, A variable frequency magnetic-coupled multivibrator, Transaction AIEE, July 1955, v. 7, Pt. I.

14. Durchflusstransmitter für Nieder- und Mitteldruck, Reglungstechnik, 1958, Heft 1.

15. Пшеничников А. М., Анализ работы мультивибратора, собранного по схеме Роера, «Автоматика и телемеханика», 1959, № 9.

16. Пшеничников А. М., Статическая частотно-импульсная система телеизмерения на магнитных и полупроводниковых элементах. Доклады научно-технического совещания по вопросам разработки и производства аппаратуры телемеханики и каналов связи для телемеханики, Ленинград, 1958.

17. Казанский В. Е., Телеизмерение в энергосистемах, Госэнергоиздат, 1957.

18. Амбросович В. Д., Малов В. С., Аппаратура телеизмерения для линий 400 *кв*, Сборник трудов ЦНИЭЛ МЭС, выпуск II, Госэнергоиздат, 1954.

19. Телеизмерительные устройства низкочастотной системы ТНЧ-2, Техническая информация завода «Электропульт», 1959.

20. De Quervain A., Zyklische Fernmessung, Brown Boveri Mitteilungen, 1955, № 7/8.

21. Piazza G. F., Rapidzyklische electronische Fernmessung, Brown Boveri Mitteilungen, Apr., 1959, № 1.

22. Малов В. С., Дискретные системы телеизмерения. Сборник трудов ВНИИЭ, № 7, Госэнергоиздат, 1958.

23. Бурденков Г. В., Кодо-импульсная система телеизмерения, Сборник трудов ВНИИЭ, № 7, Госэнергоиздат, 1958.

24. Бурденков Г. В., Система телеизмерения с импульсно-кодовой модуляцией, «Автоматика и телемеханика», 1958, № 1.

25. Купершмидт Я. А., Кодирующие и декодирующие устройства кодо-импульсной системы телеизмерения, «Автоматика и телемеханика», 1958, № 9.

26. Clement A., de Watterville H., Télémesure quantifices 60 voices à fréquence vocale, Bulletin de la Société française des Electriciens, IX 1955, № 57.

27. Susskind A. K., Notes on analog-digital conversion techniques, The technology press, Massachusetts, Institute of Technology, USA, 1957.

28. Иносов В. Л., Луцкий В. А., Кодо-импульсная система телеизмерения для диспетчеризации магистральных газопроводов, Доклад на I Международном конгрессе ИФАК по автоматическому управлению, Изд. АН СССР, 1960.

29. Мандельштам С. М., Приборы кодо-импульсной системы телеизмерения с преобразованием угла поворота стрелки в код, «Приборостроение», 1960, № 7.

30. Ильин В. А., Новиков А. И., Обзор многоканальных импульсных телеизмерительных систем, «Автоматика и телемеханика», 1955, № 4.

31. Ильин В. А. и Малов В. С., Основные вопросы теории телеизмерения, Труды сессии АН СССР по автоматизации в народном хозяйстве, Изд. АН СССР, 1957.

32. Управление и измерение на расстоянии, Сборник переводов, Изд. иностранной литературы, ч. I, 1957, ч. II, 1959, ч. III, 1960.

34. Малов В. С., Пшеничников А. М., Купершмидт Я. А., Промышленные телеизмерительные системы и цифровая техника, Доклад на I Международном конгрессе ИФАК по автоматическому управлению, Изд. АН СССР, 1960.

35. Малов В. С., Состояние и перспективы развития систем промышленной телемеханики, «Приборостроение», 1961, № 4.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 35 коп.